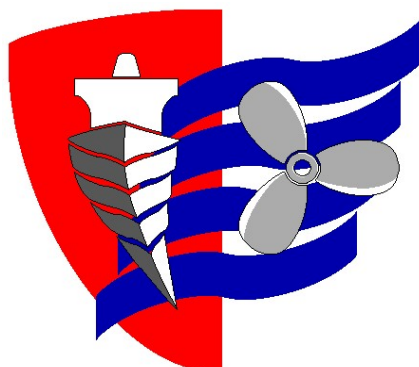


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

OPERACIÓN COMBINADA DE CARGA Y DESCARGA DE UN QUIMIQUERO

**COMBINED LOADING AND UNLOADING
OPERATION OF CHEMICAL TANKER**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Autor: Adrián Romay Romero

Director: Francisco José Correa Ruiz

Febrero - 2020

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**OPERACIÓN COMBINADA DE CARGA Y
DESCARGA DE UN QUIMQUERO**

**COMBINED LOADING AND UNLOADING
OPERATION OF CHEMICAL TANKER**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Febrero – 2020

Tabla de figuras

Figura 1. Buque Petro/Químico Panagia Thalassini. Fuente: Marflet Marine	5
Figura 2. Plan de carga antes de la operación. Fuente: Autor	16
Figura 3. Primera etapa del plan de carga. Fuente: Autor	17
Figura 4. Segunda etapa del plan de carga. Fuente: Autor	18
Figura 5. Tercera etapa del plan de carga. Fuente: Autor	19
Figura 6. Cuarta etapa del plan de carga. Fuente: Autor	20
Figura 7. Plan de carga final incluyendo carga anterior. Fuente: Autor	21
Figura 8. Manifold de estribor del Panagia Thalassini. Fuente: Autor.....	23
Figura 9. Válvula de cruce del Panagia Thalassini. Fuente: Autor	24
Figura 10. Esquema de las líneas de carga y sus conexiones. Fuente: Autor	25
Figura 11. Equipo necesario en el WWT. Fuente: tecnylab.es.....	26
Figura 12. Carga a bordo DEG. Fuente: Autor	33
Figura 13. Radar y válvula de acceso de la UTI del tanque 3 estribor del Panagia Thalassini. Fuente: Autor	34
Figura 14. Gráfica comparativa de las temperaturas de los tanques de sosa cáustica. Fuente: Autor	36
Figura 15. Gráfica comparativa de la temperatura del mar y del aire. Fuente: Autor	36
Figura 16. Representación de las “heating coils” en el plan del tanque 3 estribor. Fuente: Planos Panagia Thalassini	37
Figura 17. Régimen de carga CSS. Fuente: Autor.....	38
Figura 18. Carga a bordo CSS. Fuente: Autor	39
Figura 19. Botón de parada de emergencia. Fuente: Autor	40
Figura 20. Sección de la línea de carga de la sosa cáustica. Fuente: Autor	41
Figura 21. Línea de carga de la sosa cáustica. Fuente: Autor	42
Figura 22. Válvulas inutilizadas por la sosa cáustica marcadas en rojo. Fuente: Autor	43
Figura 23. Vista aérea de una bomba de carga. Fuente: Manual de instalación y mantenimiento de MarFlex	44
Figura 24. Esquema de un proceso de “stripiing”	45

INDICE

INDICE	1
1. Resumen y palabras clave	2
2. Introducción	4
3. Desarrollo	5
3.1. Descripción del barco	5
3.2. Descripción de la carga	7
3.2.1. Monoetilenglicol (MEG)	7
3.2.2. Dietilenglicol (DEG)	8
3.2.3. Solución de Sosa Cáustica 50% (CSS)	8
3.2.4. Compatibilidad de las cargas	9
3.3. Descripción de la operación	14
3.3.1. Plan de carga	14
3.3.2. Conexiones	22
3.3.2.1. Conexiones DEG	22
3.3.2.2. Conexiones MEG	22
3.3.3. Conexiones CSS	23
3.3.4. Carga del MEG y DEG	26
3.3.4.1. Wall Wash Test	26
3.3.4.2. Toma de muestras	28
3.3.4.3. Régimen de carga MEG	30
3.3.4.4. Carga a bordo MEG	31
3.3.4.5. Régimen de carga DEG	32
3.3.4.6. Carga a bordo DEG	33
3.3.5. Descarga de la Sosa	35
3.3.5.1. Calentamiento de la carga	35
3.3.5.2. Toma de muestras sosa	38
3.3.5.3. Régimen de carga CSS	38
3.3.5.4. Carga a bordo CSS	39
3.3.6. Parada de emergencia de la descarga de CSS	40
3.3.6.1. Descripción del problema	40
3.3.6.2. Solución	41
3.3.7. Fin de la descarga	43
4. Conclusiones	46
5. Bibliografía	47
6. Anexo	49

1. Resumen y palabras clave

Resumen

En el presente trabajo de fin de grado, abordaremos el estudio de las operaciones de carga y descarga ejecutadas a bordo de un buque quimiquero de última generación. En concreto, analizaremos la carga de monoetilenglicol y dietilenglicol y la descarga de una solución acuosa de sosa cáustica, llevadas a cabo de manera simultánea, por el buque petroquímico Panagia Thalassini, en el puerto de Vancouver (Canadá), durante los días 3 y 4 de diciembre. Lo interesante, de este caso real, consiste en la descripción de la solución dada a un problema surgido durante la operativa, el cual consistió en la parada de emergencia de la descarga, debido a un problema en la terminal, al redirigir la carga de un tanque a otro, por lo que el desembarque de sosa caustica se detuvo durante 2 horas. Realmente, el problema no fue provocado por la parada sino por las bajas temperaturas (3°C). La temperatura de solidificación de la solución de sosa cáustica es de 12°C . Consecuentemente, la carga comenzó a solidificarse en el interior de las líneas de descarga. Las medidas tomadas para que la sosa no obstruyese la línea consistieron en un trasvase de carga desde el tanque número 3 estribor a la pareja de tanques número 7 para, posteriormente, calentar con vapor de agua las válvulas que habían sido inutilizadas por la sosa solidificada.

Además, en este TFG, explicamos los procedimientos previos a la operativa, esto es, el estudio de compatibilidad de las sustancias manejadas, el plan de carga y el calentamiento de la sosa cáustica.

Palabras clave:

Descarga, Mercancía, Parada de emergencia, Bomba, Línea, Sosa caustica, Etilenglicol

Abstract

In the following final degree thesis, the combined operation of load monoethylene glycol and diethylene glycol and unload caustic soda solution carried out by the Chemical tanker “Panagia Thalassini” in the terminal of Vancouver (Canada) during the days 3 and 4 of December is analysed.

A complication was derived from this operation due to two factors: (i) a defective valve in the terminal during the change of tanks, which force to stop the operation for 2 hours and (ii) the freeze of the caustic soda solution, which solidification temperature is 12 °C, due to a low outside temperature of 3°C.

Two measures were taken to solve the possible obstruction of the pipe due to the solidification of the caustic soda: transfer the cargo from the tank 3 starboard to the tank 7 wings and then heat the stuck valves with steam.

Also in this thesis, the previous steps in the operation as the heating of the caustic soda inside the tanks, the compatibility study of the cargos and the cargo plan will be shown.

Key words:

Unload, Cargo, Emergency Stop, Pump, Line, caustic soda, ethylene glycol

2. Introducción

Los primeros indicios de transporte marítimo datan del 3500 a.C. donde se transportaban personas y pequeñas mercancías en un ámbito costero. Poco a poco se implementó la técnica y la tecnología pasando de los barcos a remos a los que utilizaban el viento y las velas como elemento de propulsión, pudiendo transportar cada vez más carga y a una mayor distancia lo que favorecía notablemente el comercio y con ello la economía entre las poblaciones costeras. Este hecho unido al sector bélico favoreció el crecimiento de este tipo de transporte. Más adelante, a finales del siglo XVIII, se implementó como forma de transporte el barco de vapor lo que permitía no depender de la condición climatológica para navegar y poder transportar hasta 10 veces más carga (Lewis, 2015).

En la actualidad, el transporte marítimo es el método más utilizado para transportar mercancías de un país a otro. Se estima que en torno al 80% de la mercancía mundial se transporta por este medio, esto es así debido a la gran cantidad de carga que pueden transportar los barcos en comparación a los trenes, aviones y camiones, el bajo coste que supone el flete, el alcance global que tienen los barcos y la amplia variedad de mercancías que se pueden transportar. Además, existen diversos tipos de buques cubriendo prácticamente todos los tipos de mercancías (KANVEL LOGISTICS & BUSINESS WORLDWIDE, 2018).

Según lo dispuesto en el SOLAS, se entiende por buque tanque quimiquero a aquel buque de carga construido o adaptado y utilizado para el transporte a granel de cualquiera de los productos líquidos enumerados en el capítulo 17 del Código Internacional de Quimiqueros (Capítulo VII, página 299) (OMI, 1974).

Los primeros transportes de productos químicos fueron realizados en barcos de madera. Los productos químicos se situaban en la cubierta del buque por si se daba el caso de una emergencia (incendio, colisión o hundimiento) poder arrojarlos por la borda antes de que la mercancía se derramase por cubierta, lo que dificultaría más la situación (Sabino, 2016). En 1959 empieza a desarrollarse la industria de los quimiqueros diseñados con tanques parcelados siendo en 1960 cuando se bota al agua el primer buque quimiquero de acero inoxidable, el MT "LIND", por la naviera

ODFJELL (Thowsen y Tenold, 2006).

Actualmente, la flota de quimiqueros supone el 7,9% de la flota mundial. Estos barcos transportan un total de 110 millones de toneladas al año entre puertos de todo el mundo. Las cargas que transportan este tipo de buques abarcan un gran abanico dependiendo principalmente del tipo de construcción y los materiales empleados en sus tanques, líneas y bombas.

3. Desarrollo

3.1. Descripción del barco.



Figura 1. Buque Petro/Químico Panagia Thalassini. Fuente: Marflet Marine

El Panagia Thalassini es un buque Petro/Químico de doble casco construido en el año 2017 perteneciente a la compañía Marflet Marine, con bandera de Chipre y clasificado por “Lloyds Register”. Su número IMO es el 9730335 y el distintivo de llamada es el 5BNP4. Las dimensiones del barco son 182.66 m de eslora, 32.20 m de manga y 17.50 m de puntal. Este buque dispone de líneas de carga duales pudiendo tener un peso muerto de 49.999 y 39.999 toneladas, respectivamente.

El buque tiene 9 pares de tanques de carga Anexo 6.1, separados por la línea central por un mamparo, haciendo un total de 18 tanques. Además, tiene 2 tanques de lodos y un tanque residual. La altura del mamparo central y los transversales corrugados de los tanques de carga es de hasta 3 metros.

El escantillonado de los tanques permite realizar una carga completa de una sustancia con hasta 1.23 t/m³ de densidad y una carga parcial con una densidad de

1.55t/m³. El acceso a los tanques se realiza a través de una escotilla dispuesta en la parte superior con una escalera que llega hasta el plan del tanque. Además de esta escotilla, el tanque dispone de otras dos de menor diámetro para asistir en la ventilación o para introducir las máquinas de lavado portátiles. Cada tanque dispone de 3 sensores de temperatura, un radar para determinar el vacío del tanque y un sensor de presión. Además, dispone de dos juegos de líneas de calefacción que permiten calentar una carga de fueloil pesado desde 44°C a 66°C en 4 días a una temperatura ambiente del aire de 2°C y una temperatura de mar de 5°C.

El colector (*manifold*) central dispone de 13 líneas de carga en ambas bandas.

- Las parejas de tanques de carga 1, 2, 3, 8 y 9 tienen una línea de carga común para el tanque de babor y el de estribor cuyo diámetro nominal es de 250 mm. Mientras que los tanques 4, 5, 6 y 7 tienen una línea de carga individual de 200 mm de diámetro.
- Todas las líneas de carga se comunican entre sí a través de las válvulas de cruce ("*crossover*"), un sistema de válvulas situadas en la banda de babor conectadas entre sí que permiten interconectar a los tanques permitiendo distribuir la carga a diferentes tanques utilizando una sola línea del manifold.
- El diseño de las líneas de carga permite alcanzar una presión de 16 bar y una temperatura de 66°C.

Cada tanque está equipado con una bomba centrífuga eléctrica (MDPC, Marflex) que se encuentra sumergida. Esta bomba permite un régimen de descarga de 600 m³/h, siendo la capacidad de descarga máxima del buque de 3600 m³/h. En caso de emergencia, se disponen de dos bombas hidráulicas que tienen un régimen de descarga de 150 m³/h. Estas bombas se conectan a una línea de aceite hidráulico que va desde la máquina hasta la pareja de tanques nº1.

Se dispone de un sistema ideado para extraer la máxima cantidad de carga de los tanques (*stripping*). Este se usa cuando debido al bajo volumen de carga en los tanques se produce la cavitación de la bomba debido a la entrada de aire en la aspiración. Este fenómeno hace que baje la presión de descarga que conecta a cada tanque con su línea principal en el manifold.

El sistema de nitrógeno tiene una capacidad de generación de 10300 m³/h.

Este sistema está diseñado para inertizar los tanques de carga cuando sea necesario, de esta forma se reemplaza el aire por N₂. También se puede usar para ventilar/secar los tanques con aire seco a través de las entradas al tanque de gas inerte. En caso de que no se pueda usar este sistema, se disponen también de dos ventiladores que funcionan mediante el bombeo de agua de mar a través del mecanismo.

Para la limpieza de tanques se disponen de dos bombas de agua salada que ofrecen un flujo de 60 m³/h a través de una línea de diámetro nominal 150 mm. El calentador de agua para la limpieza de tanques puede suministrar agua a un régimen de 120 m³/h entrando a 20°C y saliendo a 80°C. El sistema de lavado de tanques está diseñado para poder utilizar 4 máquinas de lavado al mismo tiempo. Cada tanque tiene una máquina de lavado fija (SC 30T, Scanjet) con un consumo de 20,2 m³/h y una descarga de chorro de agua a una distancia de 22 m y a 8 bar de presión (Scanjet Marine AB, 2016).

3.2. Descripción de la carga

3.2.1. Monoetilenglicol (MEG)

El monoetilenglicol, MEG (N.º cas = 107-21-1; Categoría IMO = Y; Categoría IMDG 9) es una sustancia líquida, transparente, prácticamente inodora y con propiedades higroscópicas (absorbe humedad del medio ambiente). Esta sustancia química se utiliza como líquido anticongelante y como monómero precursor en la fabricación de numerosos polímeros, por ejemplo, poliéster, usado en la fabricación de tejidos en la industria textil; polietileno tereftalato (PET), componente principal de envases desechables para la alimentación; y resinas de poliéster, utilizadas en la construcción y en elementos cotidianos como tuberías, losetas y muebles de baño.

Al ser un monómero precursor en la fabricación de polímeros, cabe explicar el riesgo de polimerización mediante el cual se obtiene polietilenglicol. Este proceso es exotérmico y como catalizador alcalino se puede usar hidróxido de sodio (NaOH), una de las cargas manejadas en la operación. Al estar las dos cargas aisladas en todo momento no existe riesgo alguno de polimerización.

3.2.2. Dietilenglicol (DEG)

El dietilenglicol, DEG (N.º cas = 111-77-3; Categoría IMO = Y; Categoría IMDG 9) es un tipo de glicol formado por dos moléculas de metilglicol y una de H₂O. Esto quiere decir que es un compuesto obtenido del monoetilenglicol y tienen una apariencia similar. El DEG también es una sustancia líquida, transparente, prácticamente inodora y con propiedades higroscópicas. Este compuesto se puede usar en la fabricación de líquidos automotrices, como líquido de frenos y anticongelante; como aditivo para la fabricación de lubricantes, textiles, agroquímicos y biocidas; y en la fabricación de resinas de poliéster insaturada y PET. Según la ECHA (European chemicals agency) tanto el MEG como el DEG son sustancias dañinas para la salud si se ingieren y producen daño a los órganos en caso de exposición prolongada o repetida (EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA), 2019). Según la hoja de seguridad del MEG (Meglobal Canada ULC, 2010), los equipos de protección individual (EPIs) mínimos para trabajar con esta sustancia son los siguientes:

- Gafas de protección química, para evitar el posible contacto ocular con partículas en suspensión.
- Guantes de protección química, para evitar el posible contacto con la piel del producto.

3.2.3. Solución de Sosa Cáustica 50% (CSS)

La solución de sosa cáustica, SCC (N.º cas = 1310-73-2; Categoría IMO Y; Categoría IMDG 8; N.º ONU 1824) es una disolución acuosa al 50% de la sal sosa cáustica (NaOH). La CSS es una mercancía altamente corrosiva por lo que en su manipulación hay que extremar la precaución puesto que produce quemaduras en la piel. Estando diluida al 50% su punto de congelación es de 12°C. Sus propiedades según el Volumen 2 del Código IMDG (IMO, 1987a) son las siguientes:

- Líquido incoloro.
- Corrosivo para el aluminio, el cinc y el estaño.
- Reacciona violentamente con los ácidos.

- Reacciona con las sales amónicas desprendiendo amoníaco gaseiforme.

Esta sustancia se emplea en la fabricación de papel, tejidos y detergentes y también es usada en la industria petrolífera para la elaboración de lodos de perforación.

Según la ECHA, la solución de sosa cáustica provoca quemaduras en la piel, los ojos y las mucosas al ser expuesto a ella (EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA), 2016).

Los EPIs mínimos necesarios para trabajar con esta sustancia según la hoja de seguridad de la carga (Formosa Plastics, 2016) y las instrucciones de la empresa son los siguientes:

- Equipo respiratorio con filtro de tipo P2. Solo en caso de ventilación insuficiente, cuando se trabaja al aire libre no se aplica.
- Guantes de protección química de PVC u otro material plástico con un espesor de 1,2mm. Se utilizan en caso de exposición a salpicaduras, por lo que si se aplica.
- Gafas de protección química y pantalla de protección facial.
- Delantal de seguridad.

3.2.4. Compatibilidad de las cargas

Según lo estipulado en el código marítimo internacional de mercancías peligrosas conocido como código IMDG (IMO, 1987a), se entiende por mercancía peligrosa a cualquier sustancia que, al ser fabricada, transportada o durante su manejo y almacenamiento puede entrañar daños materiales, un peligro para la salud y para el medio ambiente. Según estos criterios, la sosa cáustica entra dentro de estos parámetros estando en la clase 8 del código IMDG, donde se encuentran las sustancias corrosivas. Según dicho código, la sosa cáustica se tiene que estivar por separado de los ácidos, por lo que no existe ningún problema de estiva.

Tanto el MEG como el DEG no se encuentran regulados por el código IMDG al no tratarse de mercancías peligrosas (IMO, 1987b). Pero sí están reguladas por el Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten productos químicos peligrosos a granel (CIQ) (IMO, 2016) englobadas por el producto etilenglicol.

Aunque el código IMDG es un referente en la segregación de mercancías peligrosas, no se aplica en este caso puesto que las sustancias no se transportan en bultos, por lo que se aplicará el código CIQ como se explica a continuación.

La tabla 1 muestra un resumen de la información de prescripciones mínimas para el transporte de químicos peligrosos extraído del código CIQ (International Chamber of Shipping *et al.*, 1996).

Tabla 1 Resumen de prescripciones mínimas según el Código CIQ. Fuente: Código CIQ

a	c	d	e	f	g	h	i'	i''	i'''	j	k	l	n	o
Hidróxido sólido en solución	Y	S/P	3	2G	Abierta	No			NF	O	No	No	No	15.19.6, 16.2.6, 16.2.9
Etilenglicol	Y	P	3	2G	Abierta	No			Si	O	No	A	No	15.19.6

En la siguiente tabla (tabla 2) se desarrolla la información de la tabla 1, todos los datos han sido extraídos del código CIQ y completados con el MARPOL.

Mediante toda la información presente en la tabla se pueden saber que riesgos entrañan cada carga, porque está incluida en el código y las precauciones que hay que tener a la hora de transportarlas.

Tabla 2 Prescripciones mínimas según el Código CIQ. Fuente: Código Autor

Letra	Descripción	Clasificación	Descripción clasificación	Sustancia al que aplica	Referencias
A	Nombre del producto				
B	Número ONU suprimido de esta tabla	(-)	(-)	(-)	
C	Categoría de contaminación (X, Y, Z, OS)	Y	Sustancias nocivas que, si fueran descargadas en el mar tras operaciones de limpieza o deslastrado de tanques, se consideran un riesgo para los recursos marinos o para la salud del ser humano o causarían perjuicio a los alicientes recreativos u otros usos legítimos del mar y, por consiguiente, justifican una limitación con respecto a la calidad y la cantidad de su descarga en el medio marino	Ambas	Anexo II, capítulo 2 del Convenio internacional para prevenir la contaminación de los buques (MARPOL) (International Maritime Organization, 2013)
D	Riesgos	S	Sustancia incluida en el código por entrañar riesgo para la seguridad	Hidróxido sólido en solución	
		P	Sustancia incluida en el código por entrañar riesgo de contaminación	Ambas	
E	Tipo de buque en el que se puede transportar esta carga	3	Buque tanque quimiquero destinado a transportar productos indicados en el capítulo 17 que encierran riesgos lo suficientemente graves para el medio ambiente y la seguridad, como para exigir la adopción de medidas de contención moderadas a fin de acrecentar la aptitud del buque para conservar la flotabilidad después de averiado	Ambas	Capítulo 2, código CIQ

F	Tipo de tanque en el que se puede transportar la carga	2G	Tanque estructural y de gravedad	Ambas	Capítulo 4, código CIQ
G	Respiración de los tanques	Abierta		Ambas	
H	Control ambiental	No		*	
I	Equipo eléctrico				
i'	Categorías térmicas			*	
i''	Categorías de aparatos				
i'''	Punto de inflamación	NF	Producto ininflamable	Hidróxido sólido en solución	
		Si	Punto de inflamación superior a 60°C	Etilenglicol	
J	Dispositivos de medición	O	Dispositivo de medición abierto: "el que hace uso de una abertura en los tanques y puede exponer el elemento medidor a la carga o su vapor; ejemplo de ellos es la abertura practicada en el espacio vacío del tanque"	Ambas	Capítulo 13, pag 53 (IMO, 2016)
K	Detección de vapor	No		*	
L	Prevención de incendios	No	No se especifican prescripciones	Hidróxido sódico en solución	
		Abierta	Se requiere espuma resistente al alcohol o espuma para usos múltiples	Etilenglicol	
M	Materiales de	(-)	(-)	(-)	

	contrucción suprimida				
N	Equipo de emergencia	No		*	
O	Prescripciones específicas y operacionales	15.19.6	“Los tanques de carga estarán provistos de un avisador óptico y acústico de nivel alto que sea independiente del resto de equipos de medición y que indique el momento en que el nivel del líquido cargado en el tanque se aproxima al que corresponde normalmente a la condición de lleno.”	Ambas	Capítulo 15, página 76 (IMO, 2016)
		16.2.6	“Cuando en la columna ‘o’ de la tabla del capítulo 17 se haga referencia al presente párrafo habrá que especificar en el documento de embarque la viscosidad de la carga a 20°C, y si dicha viscosidad excede de 50mPa ·s a 20°C, habrá que especificar en el documento de embarque la temperatura a la cual la carga tiene una viscosidad de 50 mPa.s.”	Hidróxido sódico en solución	Capítulo 16, página 78 (IMO, 2016)
		16.2.9	“Cuando en la columna ‘o’ de la tabla del capítulo 17 se haga referencia al presente párrafo habrá que especificar en el documento de embarque el punto de fusión de la carga.”	Hidróxido sódico en solución	Capítulo 16, página 78 (IMO, 2016)
* Para ninguna de las dos sustancias se especifican prescripciones en el presente código					

3.3. Descripción de la operación

Las operaciones de carga y descarga se llevaron a cabo en la terminal de “LINNTERM” en el puerto de Vancouver Canadá desde el día 3 de diciembre del 2018 al 4 de diciembre del 2018.

En esta terminal se van a descargar 5953,74 m³ de sosa caustica desde los tanques 3 estribor, 7 estribor y 7 babor y se van a cargar 2687,41 m³ de monoetilenglicol en los tanques 6 estribor y 6 babor y 289,84 m³ de dietilenglicol en el tanque de lodos de babor.

Según los parámetros de construcción del buque y los equipos utilizados, el régimen máximo de descarga es 1800 m³/h pudiendo descargarse tres tanques al mismo tiempo lo que equivale a 600 m³/h por tanque y en el caso de la carga al ser la línea de 8 pulgadas el caudal máximo de carga es 900 m³/h.

El buque llega a la terminal a las 15:06, se hace firme el barco, se baja la pasarela y se preparara el barco de acuerdo con el reglamento PBIP. A las 15:48 suben al barco el agente, el encargado de la carga de la terminal “*Loading Master*” y demás inspectores de carga para acordar los términos de la operación con el primer oficial. Según lo acordado, la presión máxima del manifold es de 10 bar por lo que el máximo caudal permitido tanto para la carga como para la descarga es de 900 m³/h.

3.3.1. Plan de carga

A continuación, se describe el plan de carga. Este proceso de carga se realiza en tres etapas simultáneas: la carga, la descarga y el movimiento de lastre.

La carga de sosa cáustica se realizó en tres puertos distintos:

- En el puerto de Mai-Liao (Taiwán) se cargaron 13202,49 m³ en los tanques 1, 3 y 7 babor y estribor y en el 5 estribor. Esta carga aparece representada en color verde.
- En color naranja, aparecen 5249,81 m³ cargados en la pareja de tanques 2 y 8 en puerto de Kashima situado en la costa W de Japón.
- El color azul representa los 5.488,860 m³ de sosa caustica cargados en el puerto de Yeosu (Corea del Sur). Distribuida en la pareja de tanques número

9 y en el 5 babor.

Tal y como se muestra en la Figura 2, antes de comenzar la operación, la condición del barco era la siguiente: de la pareja de tanques número 9 se descargaron 960,33 m³ y el tanque 5 babor se descargó completamente en el puerto anterior (Vancouver, Washington).

Finalmente, la sosa caustica cargada en estos tres puertos asiáticos se descargará en diferentes puertos de Canadá y Estados Unidos. En esta condición el barco iba sin lastre en ninguno de los tanques.

El plan de carga de la operación consta de cuatro etapas que se detallan a continuación.

1ª etapa (Figura 3)

Descargar tanques 3 estribor, 7 babor y 7 estribor al 50% del volumen y cargar tanques 6 babor, 6 estribor y el tanque de lodos de babor al 20% del volumen.

Lastrar tanque de lastre 4 B al 3% y 7 B al 54%.

2ª etapa (Figura 4)

Descargar tanque 3 E y la pareja de 7 al 30% del volumen.

Cargar la pareja de 6 al 40% del volumen y slop de babor al 35.5% del volumen.

Lastrar tanque de lastre 7 babor al 60% y 7 estribor al 39%.

3ª etapa (Figura 5)

Descargar tanque 3 estribor al 10% y 7 babor y estribor al 10% del volumen.

Cargar tanques 6 babor y estribor al 47.6% del volumen.

Lastrar tanque de lastre 7 estribor al 67.3%.

4ª etapa (Figura 6)

Descargar tanque 3 estribor al 2.9% del volumen.

Lastrar tanque de lastre 7 estribor al 80.5%

Deslastrar tanque de lastre 7 babor al 15%

La condición de salida del barco incluyendo la carga que ya estaba a bordo es la siguiente.

Lastre 1B	1B CSS 1661,34 m ³ 2520,75 MT LLENADO 60,2% 1 BAVOR	1E CSS 1728,58 m ³ 2622,77 MT LLENADO 62,6% 1 ESTRIBOR	Lastre 1E
Lastre 2B	2B CSS 1846,58 m ³ 2775,04 MT LLENADO 61,6% 2 BAVOR	2E CSS 1842,790 m ³ 2769,345 MT LLENADO 61,7% 2 ESTRIBOR	Lastre 2E
Lastre 3B	3B CSS 1893,900 m ³ 2873,425 MT LLENADO 66,9% 3 BAVOR	3E CSS 1903,000 m ³ 2887,04 MT LLENADO 67,2% 3 ESTRIBOR	Lastre 3E
Lastre 4B	4B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 4 BAVOR	4E VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 4 ESTRIBOR	Lastre 4E
	5B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 5 BAVOR	5E CSS 1894,67 m ³ 2874,59 MT LLENADO 66,8% 5 ESTRIBOR	
Lastre 5B	6B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 6 BAVOR	6E VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 6 ESTRIBOR	Lastre 5E
	7B CSS 2045,37 m ³ 3103,24 MT LLENADO 72,1% 7 BAVOR	7E CSS 2048,80 m ³ 3108,03 MT LLENADO 72,2% 7 ESTRIBOR	
Lastre 6B	8B CSS 1730,84 m ³ 2601,11 MT LLENADO 61,1% 8 BAVOR	8E CSS 1733,74 m ³ 2605,46 MT LLENADO 61,2% 8 ESTRIBOR	Lastre 6E
Lastre 7B	9B CSS 1819,67 m ³ 2768,63 MT LLENADO 63,6% 9 BAVOR	9E CSS 886,96 m ³ 1346,00 MT LLENADO 31,0% 9 ESTRIBOR	Lastre 7E
	SLOP B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% SL BAVOR	SLOP E VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% SL ESTRIBOR	

Figura 2. Plan de carga antes de la operación. Fuente: Autor

Lastre 1B	1B	VACIO			1E	VACIO			Lastre 1E		
		0,00	m^3			0,00	m^3				
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
1 BAVOR					1 ESTRIBOR						
Lastre 2B	2B	VACIO			2E	VACIO			Lastre 2E		
		0,00	m^3			0,00	m^3				
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
2 BAVOR					2 ESTRIBOR						
Lastre 3B	3B	VACIO			3E	CSS			Lastre 3E		
		0,00	m^3			1415,50	m^3				
		0,00	MT			2136,94	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	50,0%					
3 BAVOR					3 ESTRIBOR						
Lastre 4B 3%	4B	VACIO			4E	VACIO			Lastre 4E		
		0,00	m^3			0,00	m^3				
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
	4 BAVOR					4 ESTRIBOR					
	5B	VACIO			5E	VACIO					
Lastre 5B		0,00	m^3			0,00	m^3		Lastre 5E		
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
	5 BAVOR					5 ESTRIBOR					
	6B	MEG			6E	MEG					
		567,24	m^3			567,24	m^3				
Lastre 6B		634,46	MT			634,46	MT		Lastre 6E		
	LLENADO	20,0%			LLENADO	20,0%					
	6 BAVOR					6 ESTRIBOR					
	7B	CSS			7E	CSS					
		1418,25	m^3			1418,25	m^3				
		2141,09	MT			2141,09	MT				
Lastre 7B	LLENADO	50,0%			LLENADO	50,0%			Lastre 7E 54%		
	7 BAVOR					7 ESTRIBOR					
	8B	VACIO			8E	VACIO					
		0,00	m^3			0,00	m^3				
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
8 BAVOR					8 ESTRIBOR						
Lastre 7B	9B	VACIO			9E	VACIO			Lastre 7E		
		0,00	m^3			0,00	m^3				
		0,00	MT			0,00	MT				
	LLENADO	0,0%			LLENADO	0,0%					
	9 BAVOR					9 ESTRIBOR					
	SLOP B	DEG			SLOP E	VACIO					
Lastre 7B		194,90	m^3			0,00	m^3		7E 54%		
		323,66	MT			0,00	MT				
	LLENADO	20,0%			LLENADO	0,0%					
	SL BAVOR					SL ESTRIBOR					

Figura 3. Primera etapa del plan de carga. Fuente: Autor

Lastre 1B	1B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	1E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	Lastre 1E
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	1 BABOR		1 ESTRIBOR		
Lastre 2B	2B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	2E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	Lastre 2E
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	2 BABOR		2 ESTRIBOR		
Lastre 3B	3B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	3E	CSS 849,30 m^3 1282,44 MT	Lastre 3E
	LLENADO	0,0%	LLENADO	30,0%	
	3 BABOR		3 ESTRIBOR		
Lastre 4B 3%	4B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	4E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	Lastre 4E
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	4 BABOR		4 ESTRIBOR		
	5B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	5E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	5 BABOR		5 ESTRIBOR		
Lastre 5B	6B	MEG 1134,48 m^3 1268,93 MT	6E	MEG 1134,48 m^3 1268,93 MT	Lastre 5E
	LLENADO	40,0%	LLENADO	40,0%	
	6 BABOR		6 ESTRIBOR		
	7B	CSS 850,95 m^3 1284,65 MT	7E	CSS 850,95 m^3 1284,65 MT	
	LLENADO	30,0%	LLENADO	30,0%	
	7 BABOR		7 ESTRIBOR		
Lastre 6B	8B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	8E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	Lastre 6E
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	8 BABOR		8 ESTRIBOR		
	9B	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	9E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	Lastre 7E 39%
	LLENADO	0,0%	LLENADO	0,0%	
	9 BABOR		9 ESTRIBOR		
Lastre 7B 60%	SLOP B	DEG 345,95 m^3 574,49 MT	SLOP E	VACIO 0,00 m^3 0,00 MT	
	LLENADO	35,5%	LLENADO	0,0%	
	SL BABOR		SL ESTRIBOR		

Figura 4. Segunda etapa del plan de carga. Fuente: Autor

Lastre 1B	1B	VACIO		1E	VACIO		Lastre 1E
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	1 BABOR			1 ESTRIBOR			
Lastre 2B	2B	VACIO		2E	VACIO		Lastre 2E
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	2 BABOR			2 ESTRIBOR			
Lastre 3B	3B	VACIO		3E	CSS		Lastre 3E
		0,00	m ³		283,10	m ³	
		0,00	MT		427,47	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	10,0%		
	3 BABOR			3 ESTRIBOR			
Lastre 4B	4B	VACIO		4E	VACIO		Lastre 4E
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
3%	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	4 BABOR			4 ESTRIBOR			
	5B	VACIO		5E	VACIO		
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	5 BABOR			5 ESTRIBOR			
Lastre 5B	6B	MEG		6E	MEG		Lastre 5E
		1350,03	m ³		1350,03	m ³	
		1510,03	MT		1510,03	MT	
	LLENADO	47,6%		LLENADO	47,6%		
	6 BABOR			6 ESTRIBOR			
	7B	CSS		7E	CSS		
		283,65	m ³		283,65	m ³	
		428,00	MT		428,00	MT	
	LLENADO	10,0%		LLENADO	10,0%		
	7 BABOR			7 ESTRIBOR			
Lastre 6B	8B	VACIO		8E	VACIO		Lastre 6E
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	8 BABOR			8 ESTRIBOR			
	9B	VACIO		9E	VACIO		Lastre 7E
		0,00	m ³		0,00	m ³	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
Lastre 7B	9 BABOR			9 ESTRIBOR			Lastre 7E
	SLOP B	DEG		SLOP E	VACIO		
		345,95	m ³		0,00	m ³	
60%		574,49	MT		0,00	MT	67,3%
	LLENADO	35,5%		LLENADO	0,0%		
	SL BABOR			SL ESTRIBOR			

Figura 5. Tercera etapa del plan de carga. Fuente: Autor

Lastre 1B	1B	VACIO		1E	VACIO		Lastre 1E
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	1 BABOR			1 ESTRIBOR			
Lastre 2B	2B	VACIO		2E	VACIO		Lastre 2E
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	2 BABOR			2 ESTRIBOR			
Lastre 3B	3B	VACIO		3E	CSS		Lastre 3E
		0,00	m^3		82,10	m^3	
		0,00	MT		123,97	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	2,9%		
	3 BABOR			3 ESTRIBOR			
Lastre 4B 3%	4B	VACIO		4E	VACIO		Lastre 4E
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	4 BABOR			4 ESTRIBOR			
	5B	VACIO		5E	VACIO		
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	5 BABOR			5 ESTRIBOR			
Lastre 5B	6B	MEG		6E	MEG		Lastre 5E
		1350,03	m^3		1350,03	m^3	
		1510,03	MT		1510,03	MT	
	LLENADO	47,6%		LLENADO	47,6%		
	6 BABOR			6 ESTRIBOR			
	7B	CSS		7E	CSS		
		283,65	m^3		283,65	m^3	
		428,00	MT		428,00	MT	
	LLENADO	10,0%		LLENADO	10,0%		
	7 BABOR			7 ESTRIBOR			
Lastre 6B	8B	VACIO		8E	VACIO		Lastre 6E
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	8 BABOR			8 ESTRIBOR			
Lastre 7B 15%	9B	VACIO		9E	VACIO		Lastre 7E 80%
		0,00	m^3		0,00	m^3	
		0,00	MT		0,00	MT	
	LLENADO	0,0%		LLENADO	0,0%		
	9 BABOR			9 ESTRIBOR			
	SLOP B	DEG		SLOP E	VACIO		
		345,95	m^3		0,00	m^3	
		574,49	MT		0,00	MT	
	LLENADO	35,5%		LLENADO	0,0%		
	SL BABOR			SL ESTRIBOR			

Figura 6. Cuarta etapa del plan de carga. Fuente: Autor

Lastre 1B	1B CSS 1660,74 m ³ 2524,32 MT LLENADO 60,1% 1 BABOR	1E CSS 1729,26 m ³ 2628,47 MT LLENADO 62,6% 1 ESTRIBOR	Lastre 1E
Lastre 2B	2B CSS 1826,72 m ³ 2776,61 MT LLENADO 61,0% 2 BABOR	2E CSS 1822,20 m ³ 2769,00 MT LLENADO 61,0% 2 ESTRIBOR	Lastre 2E
Lastre 3B	3B CSS 1892,11 m ³ 2876,00 MT LLENADO 66,8% 3 BABOR	3E CSS 82,10 m ³ 123,97 MT LLENADO 2,9% 3 ESTRIBOR	Lastre 3E
Lastre 4B 3%	4B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 4 BABOR	4E VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 4 ESTRIBOR	Lastre 4E
	5B VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% 5 BABOR	5E CSS 1889,68 m ³ 2872,32 MT LLENADO 66,6% 5 ESTRIBOR	
Lastre 5B	6B MEG 1350,03 m ³ 1510,03 MT LLENADO 47,6% 6 BABOR	6E MEG 1350,03 m ³ 1510,03 MT LLENADO 47,6% 6 ESTRIBOR	Lastre 5E
	7B CSS 283,65 m ³ 428,00 MT LLENADO 10,0% 7 BABOR	7E CSS 283,65 m ³ 428,00 MT LLENADO 10,0% 7 ESTRIBOR	
Lastre 6B	8B CSS 1709,54 m ³ 2598,50 MT LLENADO 60,3% 8 BABOR	8E CSS 1713,55 m ³ 2604,60 MT LLENADO 60,5% 8 ESTRIBOR	Lastre 6E
Lastre 7B 15%	9B CSS 1839,00 m ³ 2807,00 MT LLENADO 64,3% 9 BABOR	9E CSS 888,60 m ³ 1356,79 MT LLENADO 31,1% 9 ESTRIBOR	Lastre 7E 80%
	SLOP B DEG 345,95 m ³ 574,49 MT LLENADO 35,5% SL BABOR	SLOP E VACIO 0,00 m ³ 0,00 MT LLENADO 0,0% SL ESTRIBOR	

Figura 7. Plan de carga final incluyendo carga anterior. Fuente: Autor

3.3.2. Conexiones

A las 07:35 del día 4 se conectan los brazos de carga y descarga. En esta operación se conectan tres brazos de carga, uno por cada sustancia con la que se va a trabajar y en cada carga se utiliza un método distinto para conectar los tanques de carga.

3.3.2.1. Conexiones DEG

En el caso del DEG, se utilizan dos segmentos de manguera unidos para conectar la línea 5 babor con el slop de babor, esto se efectúa utilizando una pieza de acero con forma de T ciega. De esta forma se une la parte ciega a la línea del manifold para asegurar la pieza, por uno de los lados abiertos se conecta el brazo de carga y por el otro se conecta la manguera. De esta forma el brazo de carga queda fijo al barco para así poder moverse solidariamente, puesto que si se conectase la manguera directamente al brazo podría dañarse con el movimiento del barco.

El uso de mangueras como sistema de transferencia de carga supone un punto débil en el recorrido por la cantidad de conexiones y el posible deterioro de la manguera, por lo que es importante realizar una inspección visual constante (Capítulo 4, página 81)(Huber y Marton, 2001). En la operación que se estudia, se utilizó la manguera en el manifold de babor, donde siempre hay un marinero, ya que era la banda que daba a la terminal y por lo tanto donde estaban los brazos de carga.

3.3.2.2. Conexiones MEG

La carga del MEG se realiza a través de la línea 6 babor del manifold de babor para lo cual se tiene que desacoplar la ampliación de 10 a 16 pulgadas para poder conectar directamente el brazo de carga usando la línea de 10 pulgadas. A través de esta conexión la carga va directamente al tanque 6 babor. La carga del tanque 6 estribor se hace a través de una conexión metálica “*looping*”, la cual está conectada en el manifold de estribor y une las líneas del 6 babor con el 6 estribor. Un *looping* es una conexión de acero inoxidable con forma de “U” que se utiliza para conectar dos líneas del manifold. En la figura 8 se indica con una flecha un *looping* conectando la línea 4 babor con la 5 babor.



Figura 8. Manifold de estribor del Panagia Thalassini. Fuente: Autor

El *looping* usado en la operación conectaba la línea 6 estribor con la 6 babor de esta forma se puede cargar la pareja de tanques a través de una sola línea sin tener que usar las válvulas *de cruce*, puesto que estas se usaron para conectar los tanques usados para descargar la sosa caustica.

3.3.3. Conexiones CSS

La descarga de sosa cáustica se realizó a través de la línea número dos del manifold de babor. Esta línea se seleccionó por la posición del brazo de carga en la terminal. Para acoplar el brazo de carga con el manifold se utilizó una reducción de 10 a 6 pulgadas, los tanques que se descargaron fueron la pareja de tanques número 7 y el tanque número 3 estribor. Para descargar todos los tanques por la misma línea del manifold se usaron las crossover estas válvulas son un sistema ideado para conectar los tanques de carga. Al abrir las válvulas 7 babor y estribor, la número 3 y la número 2 se conectaron todos los tanques a la línea dos.

La figura 9 muestra el piano de válvulas de cubierta, conocidas en inglés como válvulas "*crossover*". Estas válvulas si no se están utilizando se dejan "ciegas" mediante una brida doble que, dependiendo de su posición, deja pasar la carga o no. Las dos posiciones posibles de esta brida las podemos ver en la válvula de cruce numero 2 (deja pasar la carga) y en la 3 (deja ciega la línea). Del mismo modo que se pueden cegar las líneas individualmente, este sistema de válvulas de cruce permite aislar las líneas del manifold de tres en tres mediante las bridas dispuestas en la línea

general. De esta forma se puede usar el sistema de válvulas para trabajar con dos mercancías distintas sin que exista riesgo de contaminación.



Figura 9. Válvula de cruce del Panagia Thalassini. Fuente: Autor

En el diagrama de la figura 10 se muestran las conexiones realizadas entre los brazos de carga y el manifold y las posiciones del looping utilizado para la carga del DEG y la manguera utilizada para hacer pasar el DEG del brazo de carga hasta el tanque. Cada carga aparece representada del mismo color que en el plan de carga, la sosa cáustica en amarillo, el DEG en azul claro y el MEG en azul oscuro, de esta forma se puede ver el recorrido que hace cada carga desde que sale del brazo de carga hasta que entra en los tanques de carga.

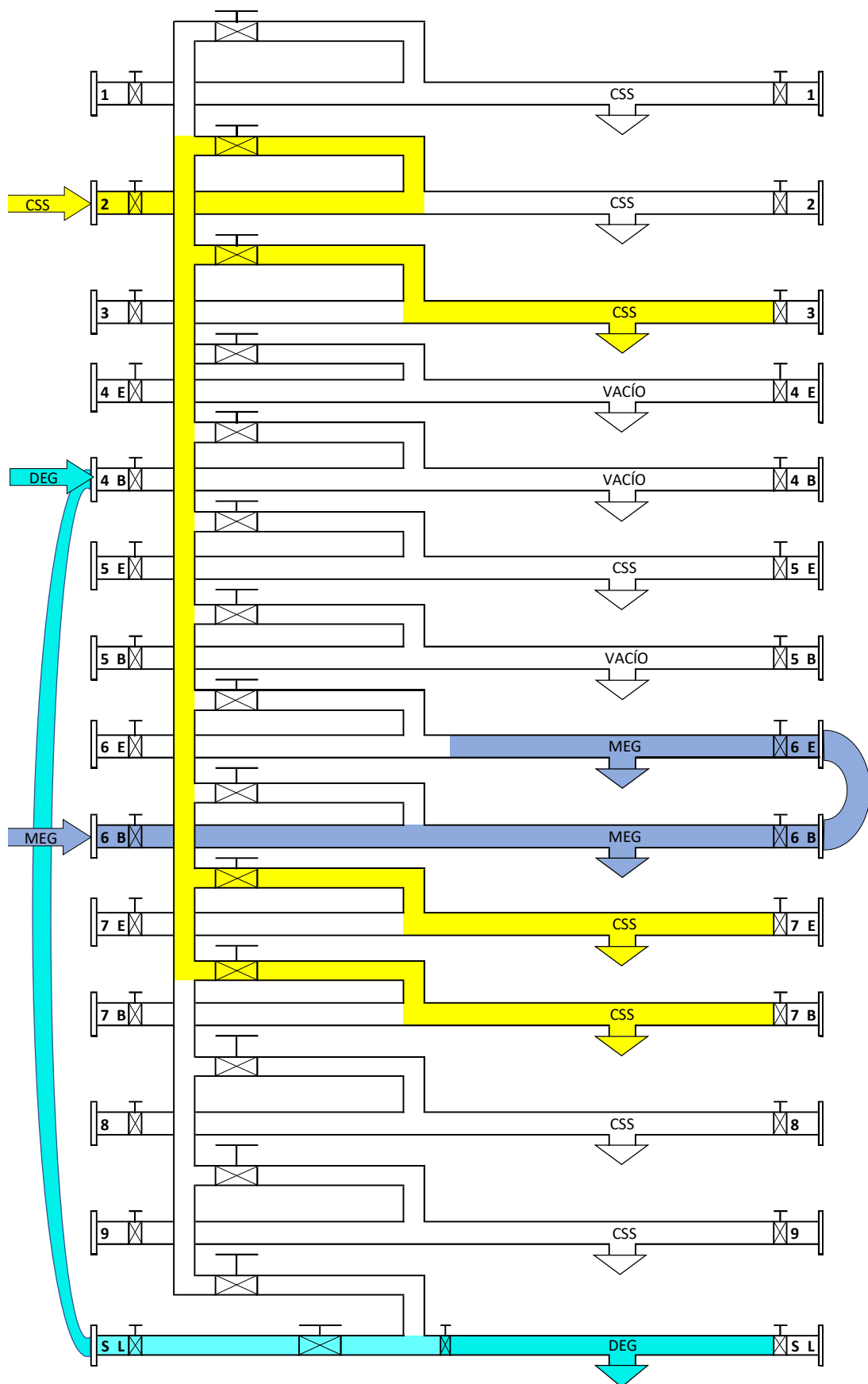


Figura 10. Esquema de las líneas de carga y sus conexiones. Fuente: Autor

3.3.4. Carga del MEG y DEG

3.3.4.1. Wall Wash Test

Tras conectar los brazos de carga a las 07:40 el siguiente paso es inspeccionar los tanques en los que se va a cargar el MEG y el DEG mediante la prueba de lavado de pared (*wall wash test*). Esta prueba se realiza con metanol para determinar la limpieza y la idoneidad de los tanques o espacios de carga destinado a transportar la carga, en este caso MEG y DEG. Estas dos sustancias tienen requisitos de muy alta calidad y se deben manejar con cuidado ya que se ven afectadas negativamente por los hidrocarburos, los cloruros y el agua. Las posibles fuentes de contaminación son las cargas anteriores y los agentes de limpieza utilizados en la limpieza de tanques.

Esta prueba se realiza de acorde a lo dispuesto en la norma ASTM E2664 – 16 (ASTM, 2015) y proporciona una muestra representativa de las impurezas y la contaminación presente en los mamparos del tanque de carga. Mediante la recogida de estas muestras se pueden determinar niveles bajos de impurezas o contaminación en el metanol. El material necesario para tomar la muestra aparece en la figura 11.



Figura 11. Equipo necesario en el WWT. Fuente: tecnylab.es

- a) Frasco lavador
- b) Frasco de 500ml de Methanol
- c) Recipiente de vidrio con embudo de acero
- d) Guantes de Nitrilo
- e) Linterna Zona 0
- f) Calzas cubrepies

Para tomar la muestra es necesario que los tanques estén completamente secos (Anexo 6.2 y 6.5) y con una humedad reducida. Una vez cumplidos estos requisitos, antes de entrar en los tanques es necesario conocer la composición de la atmósfera. Para ello se utiliza un medidor de gases (Altair X5, MSI) (MSAsafety, 2015) que permite medir la cantidad de Oxígeno, ácido sulfúrico, dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono y el límite inferior de explosividad presente en la atmósfera.

Este medidor dispone de una manguera que se introduce en el tanque por la escotilla y se mide la atmósfera en tres alturas distintas. Una vez conocidos los resultados se puede acceder con seguridad. Antes de entrar en los tanques es necesario lavar todos los instrumentos con metanol con el fin de eliminar cualquier impureza que pueda alterar la muestra. Una vez hecho esto es necesario ponerse las calzas y los guantes para no contaminar el tanque con los zapatos, es entonces cuando ya se puede acceder al interior del tanque. Una vez dentro se vierte metanol con el frasco lavador sobre varias partes del tanque y se recoge en el recipiente de cristal con el embudo de acero. Después se cierra el recipiente con cuidado de no tocar nada y se marca para saber de qué tanque es cada muestra. Antes de entrar en el siguiente tanque es necesario volver a enjuagar con metanol todos los instrumentos.

Se analiza los cloruros e hidrocarburos de cada muestra obtenida mediante las siguientes técnicas.

Los cloruros se miden como se indica a continuación, se mezclan 30 ml del metanol recogido en los tanques, 70 ml de agua destilada, 5 gotas de ácido nítrico y 5 gotas de nitrato de plata en un tubo *nessler* de 100ml de capacidad. El objetivo de esta mezcla se basa en que la combinación del cloruro con una solución de nitrato de plata da lugar a una solución lechosa o enturbiada, dependiendo del grado de enturbiamiento se puede obtener el nivel de cloruros presentes en los tanques. Esto se hace comparando la muestra obtenida en el tanque con una muestra realizada con el nivel máximo de cloruros permitido y comparándolo visualmente. Esta prueba se podría realizar, de forma más precisa, con un instrumento llamado espectrofotómetro. La espectrofotometría se basa en la cantidad de luz absorbida por una muestra tras pasar un haz de luz a través de esta, dando así una lectura exacta

de la cantidad de cloruros presente en una muestra.

Por otra parte, para obtener el nivel de hidrocarburos presentes en los tanques se sigue un procedimiento similar al de cloruros. En este caso se mezclan por una parte 50 ml del metanol obtenido mediante el *wall wash test* y 50 ml de agua destilada en un tubo *nessler* de 100 ml de capacidad y, por otra parte, 50 ml de metanol puro con 50 ml de agua destilada para comparar. A continuación, se dejan reposar las dos soluciones 20 minutos, transcurrido este tiempo se ponen las dos muestras en un entorno sin luz y se alumbran con una linterna, de esta forma se verá de forma más clara si hay turbulencias en la muestra recogida en los tanques y de ser así se obtendrá el nivel de hidrocarburos comparándolo con una tabla de muestras.

Una vez recogidas las muestras se envían al laboratorio donde realizan el análisis y envían los resultados, si resulta ser favorable se sigue con la operación y si de lo contrario da negativo hay que tomar una serie de medidas para eliminar las impurezas de los tanques y hacerlos aptos para cargar.

3.3.4.2. Toma de muestras

Tras realizar la prueba a los tanques se procede a cargar una parte de la mercancía y tomar las muestras necesarias. En el caso del MEG y del DEG se toma primero una muestra en el manifold antes de que la carga acceda a los tanques. A continuación, se carga primero una parte, conocida como primer pie, que en nuestro caso corresponde a una altura en el tanque de 50 cm. Para el tanque *slop* sería aproximadamente el 1% de la altura total y una capacidad de 10,8 m³ y para la pareja de tanques 6 corresponde al 2,5% de la altura del tanque y a una capacidad de 69,8 m³. Tras cargar esta cantidad se para y se procede a tomar muestras de la carga. Estas muestras sirven para que en caso de que la carga llegase contaminada al destino determinar mediante el análisis de las muestras en qué punto se produjo la contaminación. Para tomar las muestras hay que seguir el procedimiento expuesto en el ISGOTT (International Chamber of Shipping *et al.*, 1996). A la hora de tomar las muestras se extraen dos de cada sitio, una para los inspectores de carga y otra que se queda en el barco, las muestras las recoge un marinero y siempre tiene que estar presente un oficial. Tras recoger la muestra se etiqueta la procedencia y se guarda en un compartimento conocido como "*Sample Locker*", los puntos en los que se recogen

las muestras se describen en los apartados siguientes.

3.3.4.2.1. Manifold

Es la muestra más importante puesto que si la contaminación se encuentra en este punto determina que la contaminación viene de los tanques de tierra y exculpa al barco de cualquier error. Esta muestra se toma con la válvula del manifold cerrada y tras evaluarla por si hay alguna contaminación como presencia de impurezas o resto de alguna carga anterior se da el visto bueno y se abre la válvula del manifold.

3.3.4.2.2. Antes de entrar al tanque

Esta muestra se toma en el último punto posible antes de que la carga entre en el tanque. Normalmente la primera parte de la carga al estar a una presión reducida se hace pasar por la bomba y la muestra de carga se extrae de la bomba. Con esta muestra se determina si la contaminación se ha producido en la línea desde el manifold hasta el tanque.

3.3.4.2.3. En el tanque

Al cargar el primer pie se cubre todo el plan del tanque y la parte baja de los mamparos (50cm), por lo que esta muestra detectaría si la contaminación se ha producido por una carga anterior como resultado de una mala limpieza de tanques ya que las posibles impurezas presentes en este descenderían por gravedad a la parte inferior.

3.3.4.2.4. Al final de la carga

Se toma una muestra una vez terminada la carga de la mercancía para tener una ejemplar general del final de la carga.

Tras recoger todas estas muestras se procede a cargar la mercancía siguiendo los pasos ya mostrados.

3.3.4.3. Régimen de carga MEG

En la figura 12 se muestra el régimen de carga de MEG en la operación. Los datos fueron registrados cada hora con excepción de momentos determinados (Anexo 6.6). La carga comienza a las 13:13, desde este momento el caudal asciende hasta llegar a un máximo de 63 m³/h a las 13:54 y a continuación tiene un mínimo en 0, esto es así porque en el momento en el que se produce el primer máximo de 63 m³/h se para la carga para tomar muestras del primer pie. A las 14:30 tras recibir el análisis satisfactorio de las muestras recogidas se prosigue la carga, el siguiente máximo lo encontramos a las 16 horas con un valor de 876 m³/h, después decrece en la siguiente hora hasta 597 m³/h lo que supone una bajada de 278 m³/h. Por último, el régimen de carga aumenta hasta finalizar la carga a las 18:06 horas.

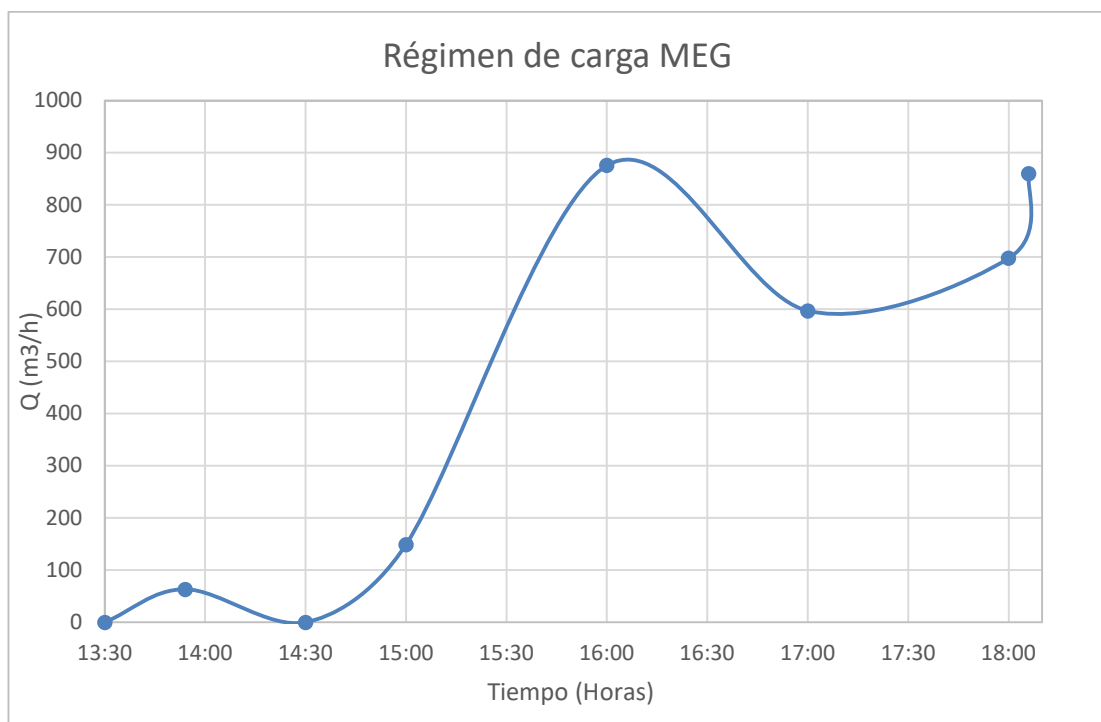


Figura 1 Régimen de carga de MEG. Fuente: Autor

3.3.4.4. Carga a bordo MEG

En la figura 12 se representa la cantidad de MEG a bordo durante la carga. En esta gráfica puede verse claramente que desde el momento de la toma de muestras del primer pie y hasta que se obtienen los resultados y se reanuda la carga, la cantidad de MEG en los tanques no varía siendo 141 m^3 . A partir de este momento, la cantidad de carga asciende gradualmente, al contrario que el régimen de carga que tenía un máximo y un mínimo en este periodo, lo que quiere decir que una bajada del caudal de $278 \text{ m}^3/\text{h}$ no supone un cambio significativo en la cantidad de carga. Finalmente, el fin de la carga se alcanza a las 18:06 con una cantidad de 2695 m^3 repartidos en los dos tanques.

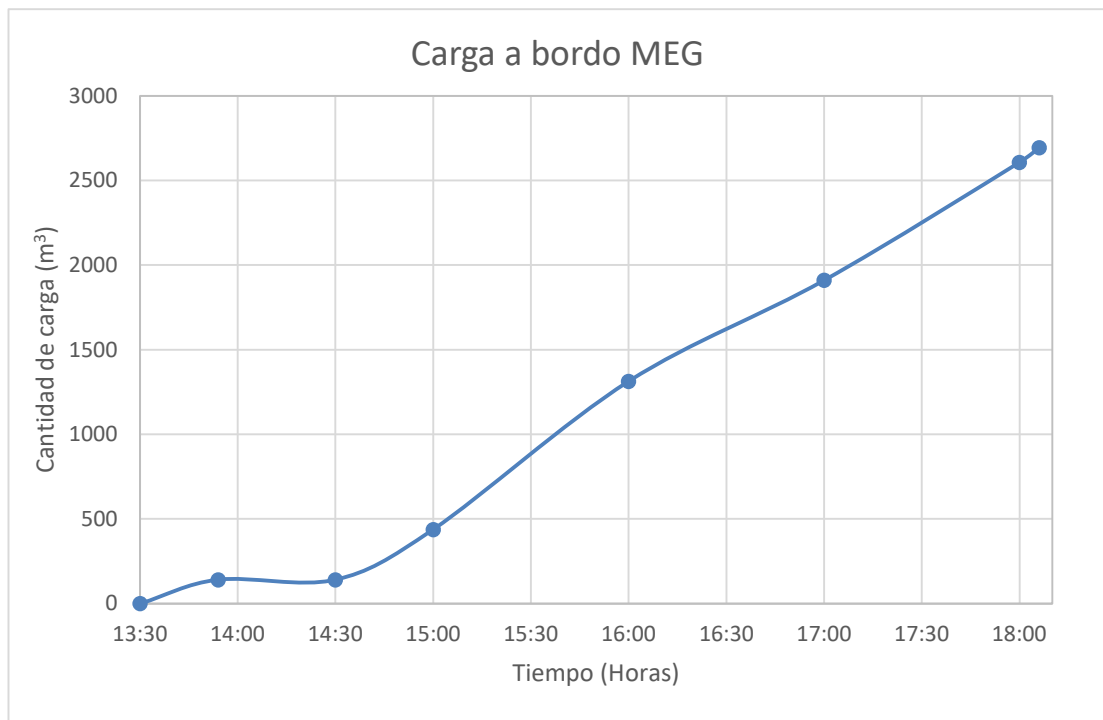


Figura 2 Carga a bordo MEG. Fuente: Autor

3.3.4.5. Régimen de carga DEG

En este caso, la figura 14 representa la variación del régimen de carga de DEG a lo largo de la carga. Al igual que en el caso anterior, los datos fueron registrados cada hora (Anexo 6.3), con excepción del final de la carga, y en la parada producida para tomar muestras del primer pie. La carga comienza a las 14:54 de forma muy lenta hasta las 15:10 cuando tras 16 minutos de carga se completa el primer pie y se para la carga para tomar las muestras y hacer el análisis. A las 15:25 se reanuda la carga y el caudal aumenta hasta un caudal máximo de 65 m³/h alcanzados a las 17:00. Después de esta lectura, el régimen de carga se estabiliza en 57 m³/h hasta el final de la carga a las 20:09.

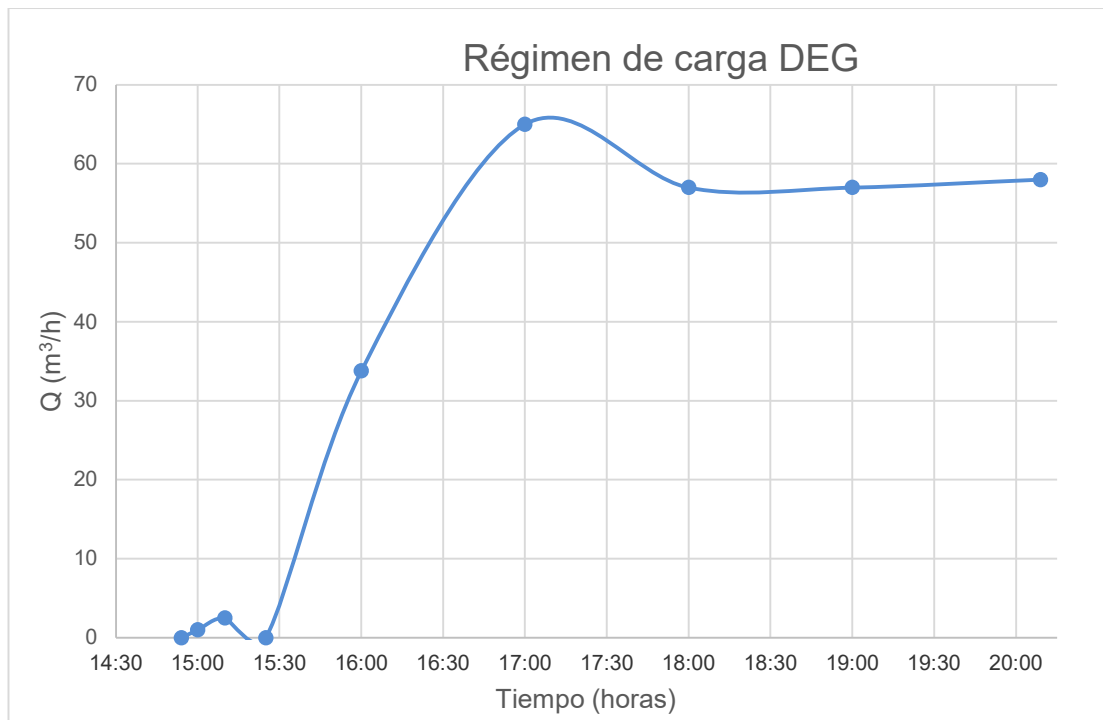


Figura 3 Régimen de carga DEG. Fuente: Autor

3.3.4.6. Carga a bordo DEG

En la figura 12 está representada la cantidad de carga en el slop de babor a lo largo de la operación. La carga comienza a las 14:54 y se cargan los 25 m³ equivalentes al primer pie. A las 15:10 se detiene la carga de DEG durante 15 minutos para coger muestras del tanque y analizarlas. A las 15:25 se reanuda la carga y por lo que se puede ver asciende de forma constante hasta el final de la carga a las 20:09 cuando se completan los 320 m³.

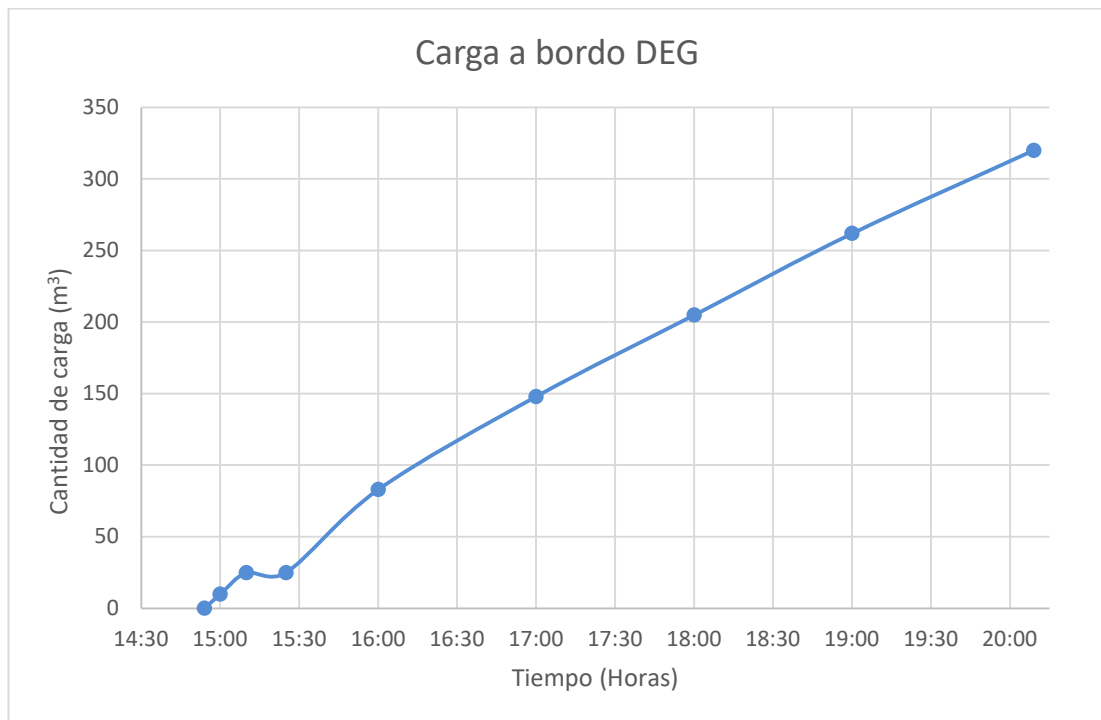


Figura 12. Carga a bordo DEG. Fuente: Autor

Tanto en la carga del MEG como en la del DEG, al terminar la operación se toman muestras y tras recibir los resultados se completa el proceso de carga calculando el volumen de MEG y DEG en los tanques (Anexo 6.4 y 6.7). Para ello, el primer oficial junto con el "Loading Master", la persona a cargo de la carga desde la terminal, miden el vacío del tanque con un dispositivo conocido como "UTI" (Ullage and Temperature Interface). Este dispositivo se utiliza para determinar la medida desde la parte superior del tanque hasta la superficie de la carga, el funcionamiento de este instrumento se basa en una cinta métrica tabulada milimétricamente que al final dispone de un sensor que detecta la superficie de la mercancía y emite un sonido distintivo. De forma manual se va desplegando la cinta métrica dentro del tanque a través de un orificio situado en cubierta junto al radar (figura 13). En este orificio se

conecta la UTI de forma hermética para así evitar cualquier posible contaminación de la carga. Además, dispone de una válvula para poder conectar la UTI y después, una vez no esté el tanque en contacto con la atmósfera, poder abrir la válvula.

Al detectar la superficie, el instrumento emite un sonido, entonces se anota la medida y se repite el proceso. Se eleva la cinta y se baja muy lentamente hasta que vuelva a detectar la superficie obteniendo una medida más exacta. Después de obtener la medida se baja la cinta con el sensor y se toma la medida de la temperatura exacta de la carga. Para ello, se hace la media de las temperaturas obtenidas en tres alturas distintas, la temperatura sirve para obtener la densidad del material cargado.



Figura 13. Radar y válvula de acceso de la UTI del tanque 3 estribor del Panagia Thalassini. Fuente: Autor

Teniendo la medida del vacío del tanque y la escora del buque se puede obtener el volumen de carga existente en el tanque mediante unas tablas emitidas por el astillero. El volumen obtenido se compara con la lectura del radar y a su vez con la medida dada por la terminal para concretar la cantidad cargada.

3.3.5. Descarga de la Sosa

Para poder realizar la descarga de la sosa caustica se siguen los requisitos de la terminal. La sosa debe estar a una temperatura comprendida entre los 40 y 44 °C, este aumento de temperatura se hace de forma gradual, ya que el material podría perder sus propiedades si se variara su temperatura más de cinco grados al día

El calentamiento gradual de la sosa empieza cuando se carga en el puerto de Mai-Liao (Taiwán) durante los días 6, 7 y 8 de noviembre a una temperatura de 42 °C. Desde ese momento se deja que la carga se enfríe en los tanques de forma natural ya que sería demasiado costoso mantener durante todo el trayecto una temperatura de 42 °C por el gasto de vapor que se generaría. El día 27 de noviembre se empieza a calentar la carga para así poder efectuar la descarga según los criterios de temperatura acordados.

A continuación, se analizará la variación de la temperatura de los tres tanques usados en la operación durante el periodo comprendido entre el 08/11/2018 y el 3/12/2018.

3.3.5.1. Calentamiento de la carga

Como se puede observar en la figura 14, la temperatura disminuye de forma constante distinguiéndose dos tramos con un punto de inflexión el 18 de noviembre. Esto es debido a que hasta el día 17 el barco se encontraba en el puerto de Kashima (Japón). Cuando el barco se adentra en el pacífico para ir dirección Vancouver se produce una bajada de temperatura tanto en el mar como en el aire, lo que repercute en el enfriamiento de la carga, la temperatura sigue disminuyendo hasta el día 27 de noviembre cuando se empieza a calentar la carga unos 5°C/día hasta el 3 de diciembre.

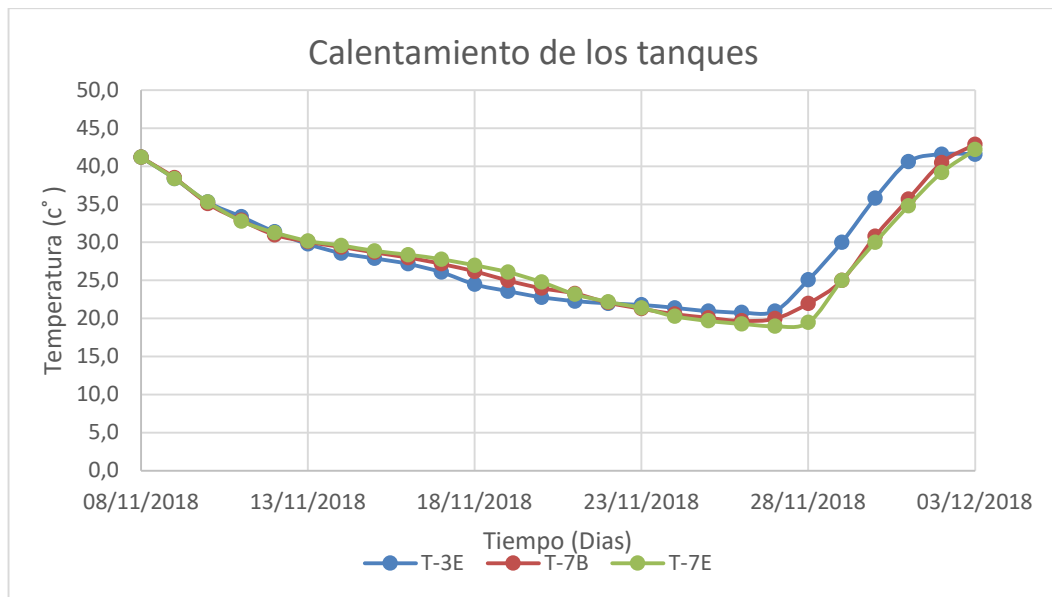


Figura 14. Gráfica comparativa de las temperaturas de los tanques de sosa cáustica. Fuente: Autor

En la figura 15 puede apreciarse la variación de las temperaturas de mar y de aire durante el trayecto efectuado desde el puerto de Mai-Liao (Taiwán) hasta el puerto de Vancouver (Canadá). En esta gráfica puede apreciarse como el día 17 de noviembre la temperatura del mar baja desde 17 a 11 °C lo que repercute en la temperatura de la carga. Tanto la temperatura del aire como la del mar fueron tomadas a las 12:00 horas. La temperatura del aire fue tomada con el termómetro de mercurio situado en el puente y la temperatura del mar desde la toma de agua salada para refrigeración situada en la máquina.

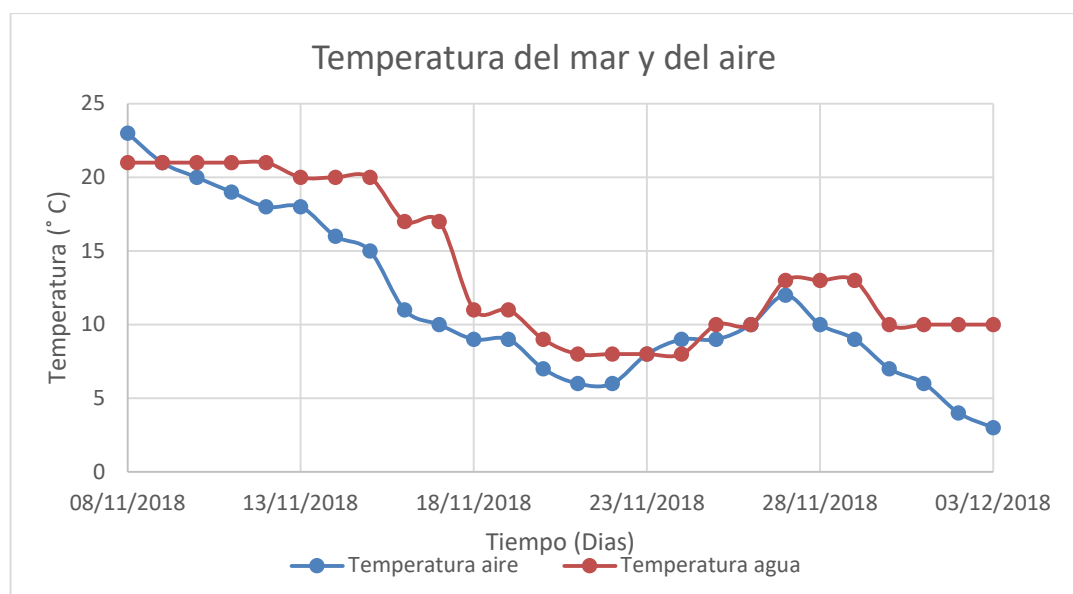


Figura 15. Gráfica comparativa de la temperatura del mar y del aire. Fuente: Autor

El calentamiento de la carga comienza el día 27 de noviembre desde una temperatura de 20°C incrementándose aproximadamente 5°C/día hasta alcanzar los 42°C. Para ello, se utiliza un juego de dos líneas de vapor que bajan hasta el fondo de los tanques quedándose a 10 cm del plan. Estas líneas tienen una longitud de 104 m cada una y serpentean por el plan del tanque cubriendo una superficie de 36.5 m², a través de ellas circula vapor de agua generado en la máquina, este vapor se bombea por una línea general que va por cubierta y tiene una derivación a cada tanque. El final de las líneas que se introducen en los tanques se une a una línea general de retorno para reutilizar ese vapor volviéndolo a calentar.

En la figura 16 se muestran las “heating coils” del tanque 3 estribor. Con esta figura se puede ver el recorrido que realizan las dos líneas de vapor por el plan del tanque.

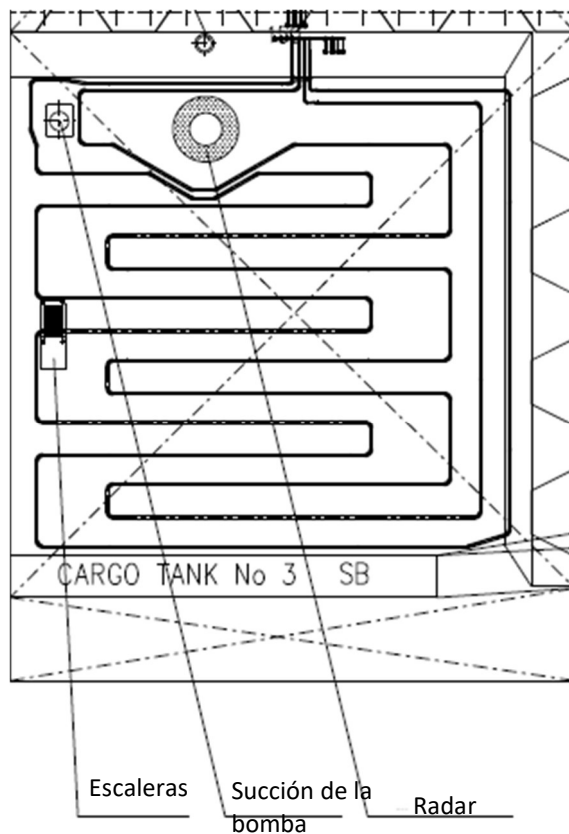


Figura 16. Representación de las “heating coils” en el plan del tanque 3 estribor. Fuente: Planos Panagia Thalassini

3.3.5.2. Toma de muestras sosa

Antes de descargar la sosa es necesario tomar una muestra del tanque para analizarla por si hay algún problema con la carga conocer el estado de esta antes de producirse la descarga. Esta muestra se toma desde una escotilla situada en la parte superior del tanque y al igual que las muestras tomadas antes y después de la operación, se extrae una muestra para la terminal y otra para el barco la cual se almacena en el pañol de muestras. Al igual que con las otras cargas, antes y después de la operación, el primer oficial y el “loading master” miden y calculan la cantidad de sosa caustica en los tanques (Anexo 6.8 y 6.10).

3.3.5.3. Régimen de carga CSS

En la figura 17 se representa el régimen de descarga de sosa cáustica a lo largo de la operación (Anexo 6.9). En este caso el régimen aparece en negativo puesto que al ser una descarga se va perdiendo carga. En este caso, durante la descarga, no se realiza una parada al principio, como en los casos anteriores, ya que las muestras se toman antes de empezar la operación. El proceso de descarga empieza con un caudal de entre 700 y 800 m³/h durante las primeras 3 horas. A partir de este momento el régimen de carga decrece puesto que se para la carga desde las 16:36 h hasta las 18:40 quedando el régimen de carga en cero puesto que la carga se transfiere del tanque número tres a la pareja de tanques número 7. Desde este momento, se reanuda la descarga estableciéndose el caudal entre 800 y 900 m³/h hasta las 22 horas cuando se descarga por completo el tanque número 3 y baja el caudal hasta los 500m³/h.

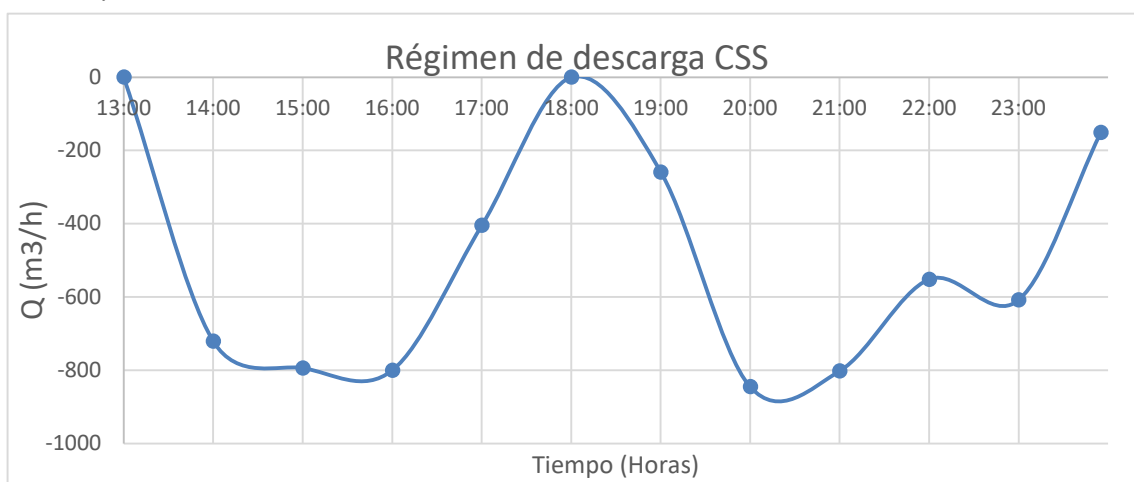


Figura 17. Régimen de carga CSS. Fuente: Autor

El final de la descarga en bruto se produce a las 23:15 h, entonces se empieza a efectuar el *stripping* de los tanques para sacar la mayor cantidad de carga posible hasta las 00:25 h que es cuando se termina la descarga.

3.3.5.4. Carga a bordo CSS

En la figura 18 se representan la cantidad de sosa cáustica a bordo de los tanques 7 babor y estribor y 3 estribor durante la operación. Al tratarse de una descarga la curva es descendente ya que la cantidad de carga disminuye. En este caso, se puede apreciar como a partir de las 16:36 h la carga a bordo es de 3313 m³ durante las siguientes dos horas, ya que el movimiento de carga se está realizando internamente desde el tanque 3 estribor hasta la pareja de tanques 7 tal como se puede ver en la gráfica. A las 18:40 h disminuye otra vez de forma constante hasta las 23:00 h que la pendiente cambia debido a que a las 23:15 h se comienza a hacer el *stripping* de los tanques.

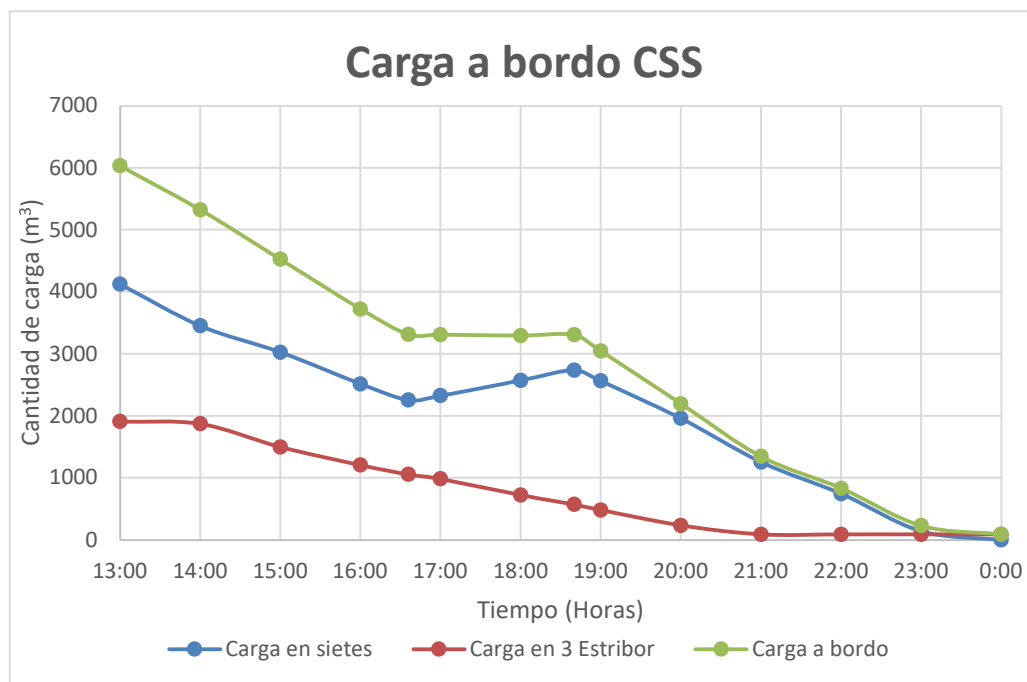


Figura 18. Carga a bordo CSS. Fuente: Autor

3.3.6. Parada de emergencia de la descarga de CSS

3.3.6.1. Descripción del problema

La parada de la descarga se produjo a causa de la avería de una válvula de tierra al efectuarse el cambio de tanques. El problema surgió cuando la válvula del segundo tanque quedó inutilizada, estando el primer tanque lleno se paró la descarga temporalmente. Se recibió por radio desde la terminal la señal (STOP STOP STOP) acordada entre el primer oficial y el responsable de la terminal. La descarga se paró pulsando el botón situado en la sala de control de carga (figura 19) y se cerraron las válvulas del manifold y de los tanques de sosa puesto que lo especificaron por radio. Al pulsar este botón se paran inmediatamente todas las bombas de cubierta, si se llegan a parar manualmente la revolución de las bombas disminuiría gradualmente en vez de hacerlo de golpe. En este caso como solo se estaban usando las bombas para la sosa cáustica no influyó en la carga de DEG y MEG.



Figura 19. Botón de parada de emergencia. Fuente: Autor

El cambio de tanques en una terminal se lleva a cabo cuando el tanque al que se está transfiriendo la carga llega a su tope y hay que redirigir la carga a otro tanque. Para ello lo primero que hay que hacer es avisar al barco para que disminuya el caudal y así operar con mayor seguridad. Después, se abre la válvula del segundo tanque y se cierra la del primero, al seguir este orden se evitan sobrepresiones en la línea.

Para realizar el cambio de tanques la terminal debe avisar al buque 1 hora antes para reducir la presión del manifold. El aviso se hizo para que a las 16:30 h la presión del manifold fuese de 1 bar. Llegado ese momento, la terminal da el aviso por radio y el oficial de guardia para todas las bombas de cubierta y avisa al capitán y al primer oficial para hacerse cargo de la situación.

Al estar la sosa caustica parada en las líneas existe riesgo de solidificación ya que su temperatura de congelación es de 12°C y en el momento de la operación la temperatura del aire era de 3°C.

3.3.6.2. Solución

El siguiente plan fue acordado entre el primer oficial y el capitán del buque.

Primero, soplar la línea desde el manifold hacia el interior de los tanques. Para hacer el soplado de una línea, tal y como se muestra en la figura 20, se conecta una manguera de aire comprimido a un extremo del manifold, se cierran las válvulas marcadas como 1 y la 2 y se mete aire hasta alcanzar una presión de 2 bar. En ese momento se abre la válvula dos y todo el aire comprimido sale por esa válvula arrastrando la carga que hay en el interior de la sección de línea, este proceso se repite dos veces.

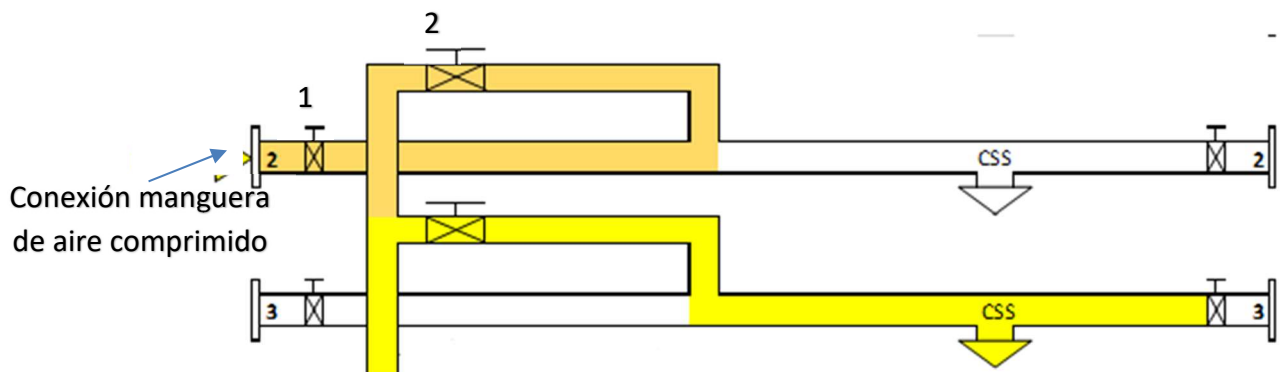


Figura 20. Sección de la línea de carga de la sosa cáustica. Fuente: Autor

Antes de realizar el soplado de las líneas es necesario abrir la válvula conocida como 'drop' que permite meter carga en el interior del tanque. Una vez hecho esto, se cierra la válvula número 2 que conecta el manifold con el resto de los tanques y así se evita que entre carga y se pueda solidificar.

Segundo, transferir la carga del tanque 3 estribor a los tanques 7 babor y estribor de esta forma se hace circular la carga a través de la línea de carga y se consigue que no se solidifique la sosa cáustica obstruyendo la línea de descarga.

En la figura 21 se puede ver el recorrido que efectuaría la carga desde el tanque 3 hasta los tanques número 7. Comparando esta figura con la numero 10 se puede apreciar que el recorrido es el mismo.

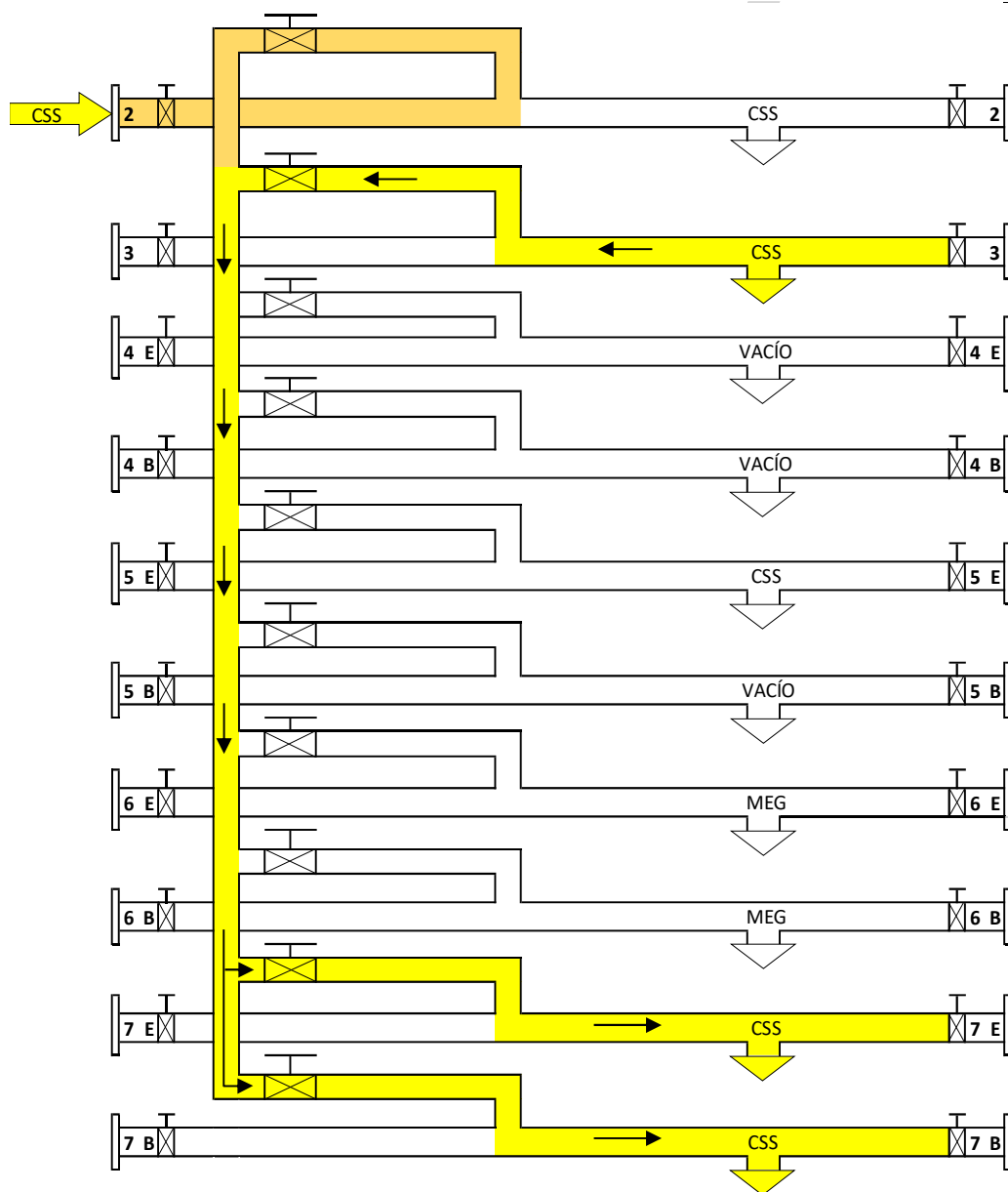


Figura 21. Línea de carga de la sosa cáustica. Fuente: Autor

Cuando la terminal comunica que la válvula de tierra está operativa y se puede continuar la descarga, es entonces cuando se revisa toda la línea de descarga para comprobar que esté libre de obstrucciones y también se comprueba la operatividad de las válvulas que se encontraban cerradas y se encuentran inutilizadas por la sosa caustica (figura 22). A continuación, se procede a calentar las válvulas cubriéndolas de tela plástica y rociándolas con vapor para así aumentar la temperatura de la sosa haciendo que pase a estado líquido y que vuelvan a estar operativas.

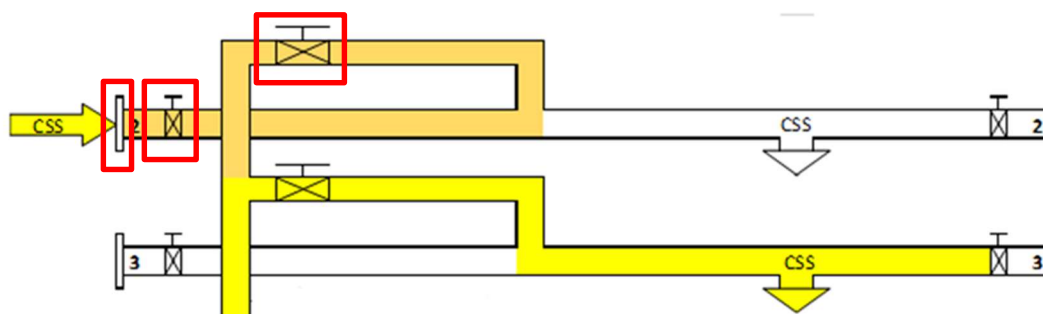


Figura 22. Válvulas inutilizadas por la sosa cáustica marcadas en rojo. Fuente: Autor

Una vez hecho esto se abren las válvulas y se comienza a transferir la carga manteniendo en el manifold una presión de un bar hasta que la terminal de permiso para subir el caudal, continuando así la descarga.

3.3.7. Fin de la descarga

Durante la última etapa de la descarga, la bomba empieza a bombear aire debido al bajo nivel de carga provocando el descenso de la presión de descarga y el amperaje de la bomba. Para remover la mayor cantidad de carga posible del tanque y limpiar la línea de descarga se realiza un “stripping”, explicado anteriormente (Stead y Kerr, 2007).

Según el código MARPOL, “Antes de llevar a cabo ningún procedimiento de prelavado o descarga conforme a lo prescrito en la presente regla, se vaciarán al máximo todos los tanques pertinentes de acuerdo con los procedimientos prescritos en el manual” (Anexo II, Capítulo 5, Regla 13, Punto 1,2, Página 193) (OMI, 2017), dichos procedimientos se obtienen mediante pruebas realizadas en el astillero y se anotan en el Manual de procedimientos y disposiciones del cada barco.

Para realizar este proceso se debe abrir la válvula del stripping y cerrar la válvula de descarga, tal como se muestra en la figura 23, de esta forma se impide que la carga

presente en la línea vuelta al tanque.

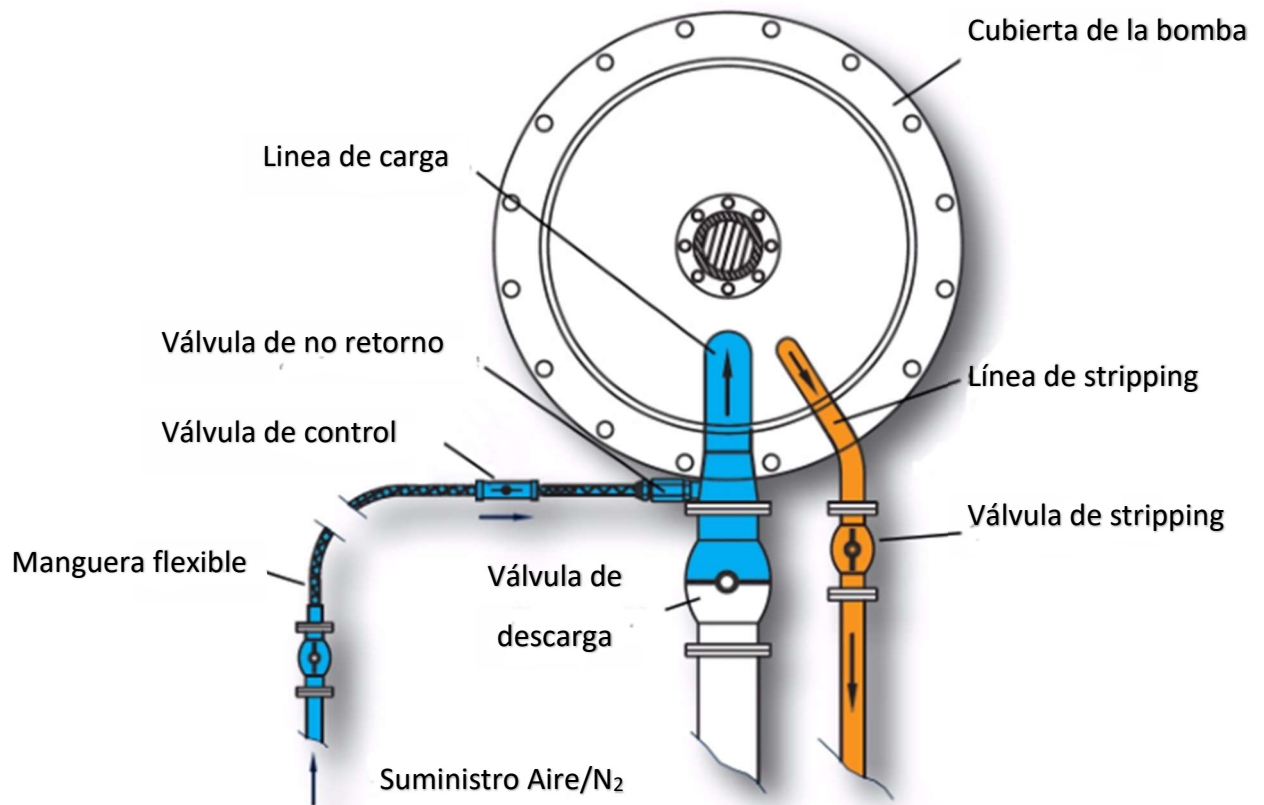


Figura 23. Vista aérea de una bomba de carga. Fuente: Manual de instalación y mantenimiento de MarFlex

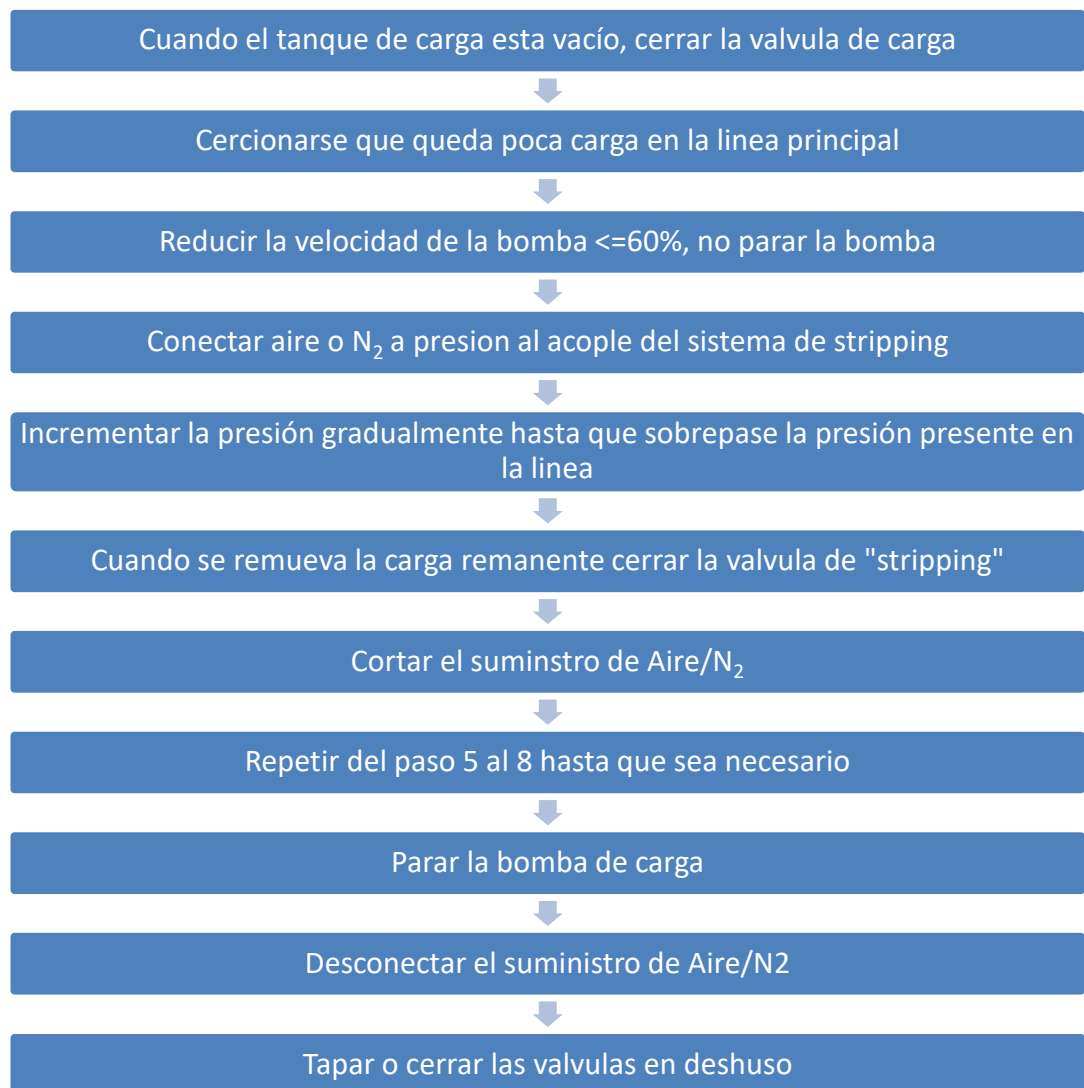


Figura 24. Esquema de un proceso de "stripping"

Cada ciclo de "stripping" mostrado en la figura 24 dura de 4 a 10 minutos dependiendo de las características de la carga, se necesita un cierto numero de ciclos para obtener los mejores resultados (Anexo 6.12 y 6.13).

Para facilitar la absorción de la mercancía por la bomba antes de proceder a hacer el stripping de los tanques es conveniente poner el barco con asiento apopante y con escora para que la carga se concentre en las inmediaciones de la bomba, en los tanques de carga la succión de la bomba se encuentra a popa y pegadas al mamparo central por lo que para hacer el stripping de un tanque de estribor la escora se tendrá que hacer hacia la banda de babor y viceversa, estas inclinaciones en el barco se consiguen realizando un movimiento de lastre.

Al final de la descarga se expide un certificado de que en los tanques no queda carga (Anexo 6.11).

4. Conclusiones

Por medio de este trabajo de fin de grado se pretende explicar la solución dada al problema experimentado en la operación realizada por el buque petroquímico Panagia Thalassini en el puerto de Vancouver (Canadá). Este problema consiste en que cuando se estaba descargando la sosa cáustica, se tuvo que realizar una parada de emergencia, porque debido a la baja temperatura ambiente, la sosa cáustica tenía riesgo de solidificarse en el interior de la línea. Por lo que se decidió soplar la línea desde el manifold hasta el interior de los tanques y transferir la carga desde el tanque 3 estribor a la pareja de tanques número 7. Posteriormente, una vez solventado el problema en la terminal, se calentaron las válvulas que quedaron inutilizadas por la sosa solidificada para volver a hacerlas operativas. Esta solución fue planteada por el capitán del buque y por el primer oficial.

Para poner al lector en situación se describen previamente el barco, la carga y los pasos de la operación.

La primera conclusión consiste en resaltar la importancia de realizar un correcto mantenimiento de los equipos, tanto por parte de la terminal como por parte del buque, aunque en este caso no fuese el culpable del error, ya que evitaría retrasos e inconvenientes en las operaciones.

En segundo lugar, el hecho de que el barco no tuviese las líneas de carga y descarga calefactadas agravó la situación al no poder mantener la temperatura de la mercancía y tener que realizar el transvase de un tanque a otro, por otra parte, la terminal si disponía de calefacción en la línea por lo que a partir del brazo de carga no hubo ningún problema de solidificación de la sosa.

Finalmente, gracias al procedimiento de parada de emergencia acordado entre el primer oficial y el “loading master” de la terminal antes de comenzar la operación se pudo comunicar la parada de emergencia de forma clara y se pudo actuar de forma rápida evitando así más inconvenientes.

5. Bibliografía

- ASTM (2015) "Standard Test Method for Methanol Wall Wash of Marine Vessels Handling Polyester Grade Monoethylene Glycol 1", *Astm*, i, pp. 1-5.
doi:10.1520/E2664-09A.2.
- EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA) (2016) *Sodium Hidroxide Substance information*.
- EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA) (2019) *Ethane-1,2-diol Substance Information*.
- Formosa Plastics (2016) *Material Safety Data Sheet CSS, Exposure*.
- Huber, M. y Marton, G. S. (2001) *Tanker operations : a handbook for the person-in-charge (PIC)*. Fourth. Centreville, Maryland.
- IMO (1987a) *Código marítimo internacional de mercancías peligrosas*. 2018.^a ed. Londres.
- IMO (1987b) *Código marítimo internacional de mercancías peligrosas*. 2018.^a ed. Londres. Disponible en: <http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/rep-110670>.
- IMO (2016) *Código internacional para la construccion y el equipo de buques que transporten productos químicos peligrosos a granel*. Quinta. Londres.
- International Chamber of Shipping, Oil Companies International Marine Forum y International Association of Ports and Harbors (1996) *International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals*. 5th ed. Editado por Witherby & Co Ltd.
- KANVEL LOGISTICS & BUSINESS WORLDWIDE (2018) *Transporte marítimo de mercancía. Ventajas de su elección, web page*. Disponible en: <https://kanvel.com/transporte-maritimo-de-mercancias/> (Accedido: 22 de agosto de 2019).
- Lewis, W. (2015) "Transition from sail to steam on the great lakes in the nineteenth century", *Northern Mariner*, 25(4), pp. 345-374.
- Meglobal Canada ULC (2010) *Material Safety Data Sheet MEG*.
- MSAsafety (2015) "ALTAIR ® 5X Multigas Detector", p. 83.
- OMI (1974) *Convenio SOLAS Edición refundida de 2009*. 5.^a ed. Londres.
- OMI (2017) *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques*

(*MARPOL*). 6.^a ed. Londres.

Sabino, C. (2016) *Parcel Tankers*.

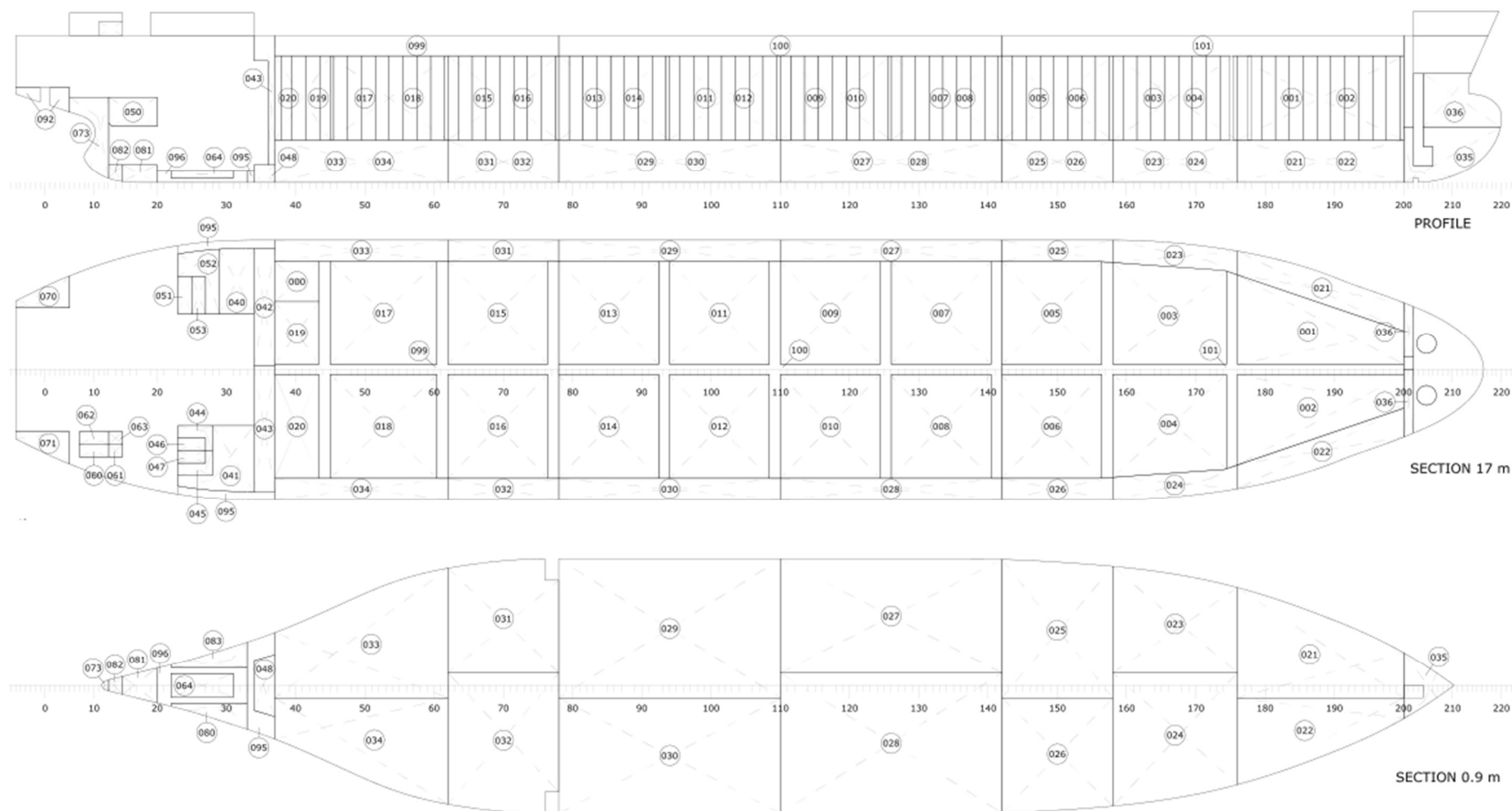
Scanjet Marine AB (2016) "Instruction Manual SCANJET SC 30T", p. 64.

Stead, J. y Kerr, M. (2007) "Installation and Maintenance Manual Tmc 231", 31(0).

Thowsen, A. y Tenold, S. (2006) "Odfjell: The History of a Shipping Company", en Odfjell ASA (ed.) *Odfjell: The History of a Shipping Company*. 2006.^a ed, p. 548.

6. Anexo

6.1 – Plano de los tanques de carga



6.2 – Certificado de tanque seco MEG

MOL Chemical Tankers Pte. Ltd.

DRY CERTIFICATE

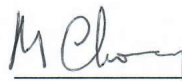
(For Loading)

Port: VANCOUVER BC

Date: 04 DECEMBER 2018

Time: 0800 Hrs

THIS IS TO CERTIFY that tank Nos. 6 P/S of
the M.T. PANAGIA THALASSINI Voy. 06-18 were inspected and
found dry and ready to receive cargo of MEG in bulk.



Charterer, Shipper, Consignee
or their Authorized
surveyor

 Intertek

FOR RECEIPT ONLY

6.3 – Registro de bombeo de MEG

[illegible]

6.4 - Reporte de cantidad de carga en los tanques MEG

MARFLET MARINE S.A

M/T PANAGIA THALASSINI

LIMASSOL

ULLAGE REPORT

AFTER LOADING

VESSEL **PANAGIA THALASSINI**

VOY No **06-18**

DATE **4-Dec-18**

PORT **VANCOUVER BC**

TERMINAL **LYNNTERM # 4**

GRADE	DEG
Density at @ 20°C	1.1155 Air
Corr. Factor	0.00000

DRAFT
FWD 9.820
AFT 9.820
TRIM 0.000

TANK	ULLAGE OBS	T.O.V. M3	° C	M3	GOV (barrels)	TEMP ° C	DENSITY IN AIR	DENSITY at T°C	SHORT TONS	LONG TONS	MT AIR
1P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
1S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
4P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
4S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8P	16.990	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9S	17.030	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
SLP P	11.040	317.660	18.40		1998.021	18.40	1.1155	1.1167	391.009	349.119	354.721
SLP S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
TOTAL		317.660	25.49	0.000	1998.021	24.35			391.009	349.119	354.7214

	TOTAL
MT AIR	354.7214
LONG TONS	349.1189
SHORT TONS	391.0094
GOV - M3	317.6600
GOV - BARRELS	1998.0210

REMARKS:

UTI WITH SERIAL NUMBER G22037 USED
FINAL CALCULATION - SHORE STOP

[Signature]
H. GOMEZ
CHIEF OFFICER
M/T PANAGIA THALASSINI
LIMASSOL, CYPRUS

[Signature]
IMS Marine Surveyors &
Analytical Laboratories Ltd.
Vancouver, BC, Canada
Capt. Jostein Hoddevik, President
www.ims-van.com 1-604-298-9968

TERMINAL SURVEY

6.5 - Reporte de tanque seco DEG

MOL Chemical Tankers Pte. Ltd.

DRY CERTIFICATE



(For Loading)

Port: VANCOUVER BC

Date: 04 DECEMBER 2018

Time: 0825 Hrs

THIS IS TO CERTIFY that tank Nos. SLOP PORT of
the M.T. PANAGIA THALASSINI Voy. 06-18 were inspected and
found dry and ready to receive cargo of DEG in bulk.


Charterer, Shipper, Consignee
or their Authorized
surveyor 
FOR RECEIPT ONLY

[illegible]

6.7 - Reporte de cantidad de carga en los tanques DEG

MARFLET MARINE S.A

M/T PANAGIA THALASSINI
LIMASSOL

ULLAGE REPORT

AFTER LOADING

VESSEL PANAGIA THALASSINI

VOY No 06-18

DATE 4-Dec-18

PORT VANCOUVER BC

TERMINAL LYNNTerm # 4

GRADE DEG

Density at @ 20°C 1.1155 Air

Corr. Factor 0.00000

DRAFT
FWD 9.820
AFT 9.820
TRIM 0.000

TANK	ULLAGE	T.O.V.			GOV (barrels)	TEMP ° C	DENSITY IN AIR	DENSITY at T°C	SHORT TONS	LONG TONS	MT AIR
	OBS	M3	° C	M3							
1P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
1S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
4P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
4S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8P	16.990	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9S	17.030	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
SLP P	11.040	317.660	18.40		1998.021	18.40	1.1155	1.1167	391.009	349.119	354.721
SLP S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
TOTAL		317.660	25.49	0.000	1998.021	24.35			391.009	349.119	354.7214

	TOTAL
MT AIR	354.7214
LONG TONS	349.1189
SHORT TONS	391.0094
GOV - M3	317.6600
GOV - BARRELS	1998.0210

REMARKS:

UTI WITH SERIAL NUMBER G22037 USED
FINAL CALCULATION - SHORE STOP

[Signature]
H. GOMEZ
CHIEF OFFICER
MARFLET MARINE S.A.
LIMASSOL, CYPRUS

[Signature]
IMS
IMS Marine Surveyors &
Analytical Laboratories Ltd.
Vancouver, BC, Canada
Capt. Jostein Hoddevik, President
www.ims-can.com 1-604-298-9968

TERMINAL SURVEY

6.8 - Reporte de cantidad de carga en los tanques CSS antes de la operación

MARFLET MARINE S.A

M/T PANAGIA THALASSINI

LIMASSOL

ULLAGE REPORT

BEFORE UNLOADING

VESSEL **PANAGIA THALASSINI**

VOY No **06/18**

DATE **4-Dec-18**

PORT **VANCOUVER BC**

TERMINAL **LYNNTERM 4**

GRADE **CAUSTIC SODA**

Density at @ 20°C **1.5231** Air
Corr. Factor **0.00000**

DRAFT
FWD **10.750**
AFT **10.840**
TRIM **0.090**

TANK	ULLAGE OBS	T.O.V. M3	° C	M3	GOV (barrels)	TEMP ° C	DENSITY IN AIR	DENSITY at T°C	SHORT TONS	LONG TONS	MT AIR
1P	17.010								0.000	0.000	0.000
1S	17.010								0.000	0.000	0.000
2P	17.020								0.000	0.000	0.000
2S	17.020								0.000	0.000	0.000
3P	17.020								0.000	0.000	0.000
3S	6.372	1912.390	41.70		12028.570	41.70	1.5231	1.5075	3177.851	2837.395	2882.928
4P	17.010								0.000	0.000	0.000
4S	17.000								0.000	0.000	0.000
5P	17.010								0.000	0.000	0.000
5S	17.020								0.000	0.000	0.000
6P	17.000								0.000	0.000	0.000
6S	17.000								0.000	0.000	0.000
7P	5.605	2060.870	42.30		12962.481	42.30	1.5231	1.5071	3423.675	3056.882	3105.937
7S	5.628	2057.440	41.80		12940.907	41.80	1.5231	1.5074	3418.657	3052.402	3101.385
8P	16.990								0.000	0.000	0.000
8S	17.010								0.000	0.000	0.000
9P	17.000								0.000	0.000	0.000
9S	17.030								0.000	0.000	0.000
SLP P	17.010								0.000	0.000	0.000
SLP S	17.020								0.000	0.000	0.000
TOTAL		6030.700	14.89		0.000	37931.957	28.20		10020.183	8946.679	9090.250

	TOTAL
MT AIR	9090.250
LONG TONS	8946.679

6.9 – Registro de bombeo de CSS

[illegible]

6.10 - Reporte de cantidad de carga en los tanques CSS después de la operación

MARFLET MARINE S.A

M/T PANAGIA THALASSINI

LIMASSOL

ULLAGE REPORT

AFTER UNLOADING

VESSEL **PANAGIA THALASSINI**

GRADE **CAUSTIC SODA**

VOY No **06/18**

Density at @ 20°C **1.5231** Air
Corr. Factor **0.0000**

DATE **4-Dec-18**

PORT **VANCOUVER BC**

DRAFT
FWD **9.200**
AFT **9.900**
TRIM **0.700**

TERMINAL **LYNNTERM 4**

TANK	ULLAGE	T.O.V.			GOV	TEMP	DENSITY	DENSITY	SHORT	LONG	MT AIR
	OBS	M3	° C	M3	(barrels)	° C	IN AIR	at T°C	TONS	TONS	
1P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
1S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
2S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3P	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
3S	16.459	76.960	30.00		484.064	30.00	1.5231	1.5159	128.598	114.821	116.664
4P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
4S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
5S	17.020	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
6S	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
7S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8P	16.990	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
8S	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9P	17.000	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
9S	17.030	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
SLP P	17.010	0.000			0.000				0.000	0.000	0.000
SLP S	17.020								0.000	0.000	0.000
TOTAL		76.960	14.16	0.000	484.064	28.20			128.598	114.821	116.664

TOTAL	
MT AIR	116.664
LONG TONS	114.821

6.11 – Certificado de tanques secos CSS

MOL Chemical Tankers Pte. Ltd.

DRY CERTIFICATE

(For Discharging)

Port: VANCOUVER BC.

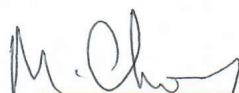
Date: Dec 4/18

Time: 2200 Hrs

THIS IS TO CERTIFY that the undersigned, after inspecting tank No. 7P – 7S

of the M.T. PANAGIA THALASSINI Voy.No. 06/18 finds

above tanks dry and all cargo on board has been delivered in good order and condition.

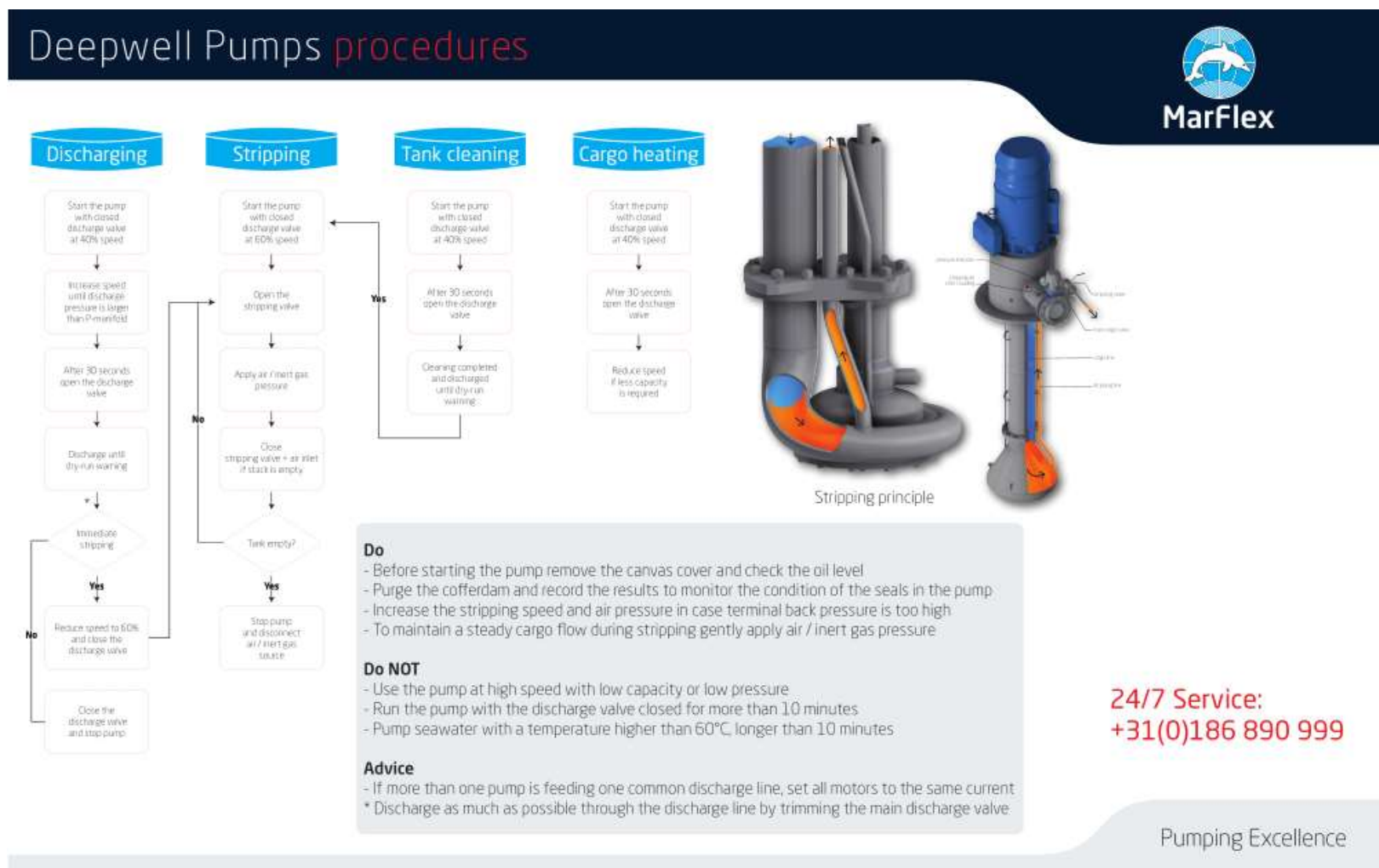


Charterer, Shipper, Consignee
or their Authorized
surveyor

 Intertek

FOR RECEIPT ONLY

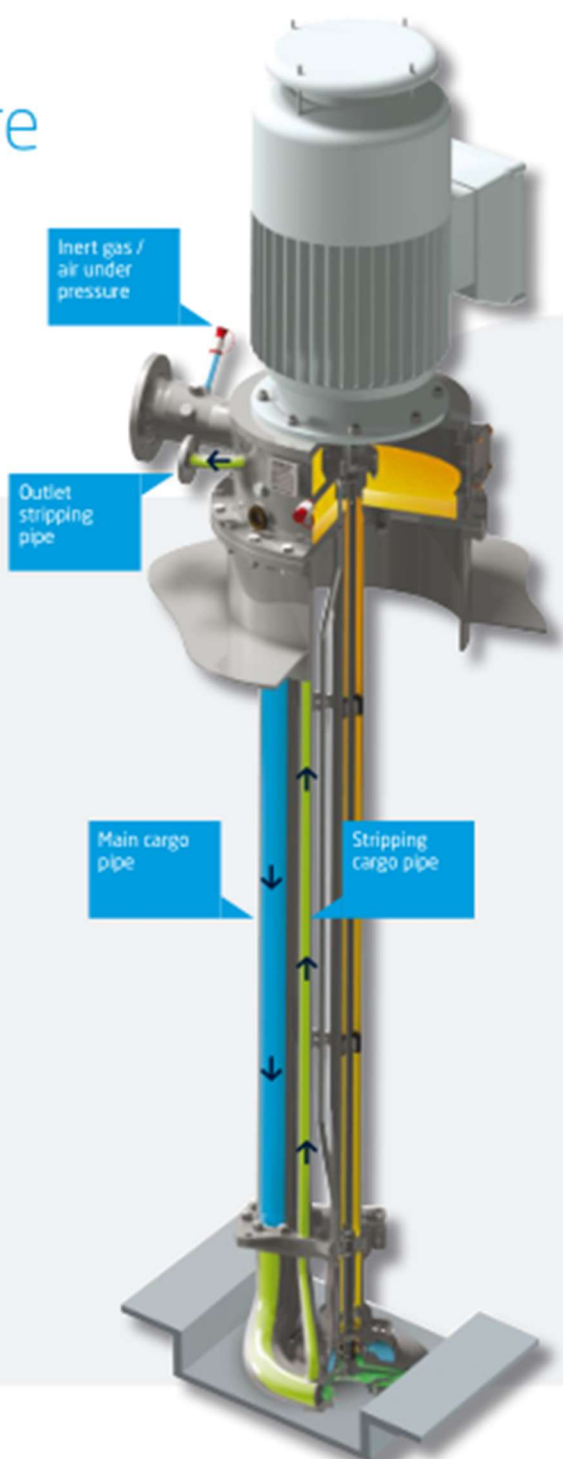
6.12 - Procedimientos de la bomba



6.13 - Figura ilustrativa del proceso de Stripping

Stripping procedure

When the cargo tank is empty, the cargo stripping valve must be opened and the main cargo valve closed. The residual cargo left in the main cargo pipe is removed by forcing inert gas or air via the stripping pipe into the cargo line on deck. During the stripping procedure, the pump should be kept running (the impeller acts as a dynamic foot valve) until the cargo pipe is completely empty. This procedure guarantees an absolute minimum of residual cargo in the pump well, and complies with all IMO rules.



ANEXO II: Aviso responsabilidad UC

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”